



République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques Département des Sciences Géologiques

> Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme de MASTER EN GEOLOGIE Option : Géologie des Bassins Sédimentaires

Utilisation du Gamma Ray spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) dans la région du Nord Ahara du Bassin de Berkine

Réalisé par :

HAMLAOUI Louiza

**OULD YOUCEF Fairouz** 

Proposé par : Mr M. MEDAOURI

Soutenu devant le jury composé de :

Président :	Mr. ACHOUI. M	MAA, UMMTO
Promoteur :	Mr. AHMED ZAID. I	MCA, UMMTO
Examinatrice :	Mme. AISSAOUI. R	MCB, UMMTO
Co-promoteur :	Mr. BOURAS. M	Ingénieur Géologue, SONATRACH

# **Promotion 2020-2021**

On Remercie premièrement le Dieu tout puissant de nous avoir donnée la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. AHMED ZAID IDIR, On le remercie chaleureusement pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier profondément Mr. MEDADURI MOURAD, chef du département de Berkine Duest de la Division Exploration de la Sonatrach, pour avoir proposé le thème de notre mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à Mr. BOURAS MOULOUD, Ingénieur géologue à la Sonatrach pour nous avoir suivies de très près par ses conseils fructueux, ll a mis à notre disposition tous les éléments qui pouvaient être utiles afin de réaliser ce mémoire.

Nous n'omettrons pas de remercier l'ensemble des personnels du Département Berkine Duest de la Sonatrach, Division Exploration, parmi eux : Mr. BOUDDUR NABIL, Mr. HAMZADUI DADUD, Mr. HASSAIM MDHAMED, et Mr HACHDUR KAMEL, sans leur aide ce travail ne serait jamais accompli dans des bonnes conditions.

Nos remerciement également Mr. SALAH HEMAT Ancien responsable de la Géologie à Sonatrach pour son soutien et son encouragement.

Nos remercions Mr. ACHOUI M'HEND de nous avoir accordé l'honneur de présider notre soutenance. Nos remerciements vont aussi à Mme AISSADUI Rosa d'avoir accepté de juger notre travail en qualité d'examinatrice.

Nos remercions tous les enseignants du Département des Sciences Géologiques de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'université Mouloud Mammeri, de Tizi Ouzou. Je dédie ce travail :

A ma famille, aucun langage ne serait exprimé mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragement.

Particulièrement à ma chère mère : Quoi je fasse ou je dise, je ne sais pas comment te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes coté a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles ; ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

A mon cher père : Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as fait pour moi.

A mes chères sœurs : Aini, Mélissa, Célina, qui n'ont pas cessée de m'encourager et soutenir tout au long de mes études. Que DIEU vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

A mon adorable petite sœur Ilyana qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A ma grande mère, puisse DIEU lui prêter une longue et joyeuse vie.

Ma gratitude et ma reconnaissance vont également à tous mes amis (es) Thiziri, Katila et Yamina ainsi qu'à tous mes proches.

Enfin, je dédie ce travail à mes camarades de la promotion Géologie des Bassins sédimentaires et tous les étudiants du Département des Sciences Géologique de l'université MOULOUD MAMMERI Tizi Ouzou.

Sans oublier ma camarde de binôme Fairouz pour sa patience et sa compréhension.

Louiza

Je dédie ce travail à :

La mémoire de ma mère : Aucune dédicace n'aurait été assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices, que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance, et même juste avant que tu quittes ce monde. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour, même si tu n'es plus parmi nous, mais sache que tu es toujours présente en bonne place dans mon cœur.

#### « Paix à ton âme »

A mon adorable père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Merci

pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi. A mes frères Ali et Malek, merci pour tous les moments d'enfance passés avec vous, et pour l'aide que vous m'avez apporté.

A ma sœur Yamina qui n'a pas cessé d'être exemple des persévérances, de courage et de générosité. Je te dis merci et je te souhaite que du bonheur, de la réussite et de la prospérité.

A mon neveu adorable Abed el Madjid, tu as apporté beaucoup de bonheur à notre famille.

A ma belle-sœur et ma belle-mère, pour leurs soutiens, l'aide précieuse et leurs encouragements.

*Ma gratitude et ma reconnaissance vont également à tous et toutes mes amis (es) Yamina, Aini et Mélissa, Surtout ma camarade de binôme Louiza, grâce à l'immense effort et patience dont elle a fait preuve.* 

Enfin je dédie ce travail à tous mes amis (es) et mes camarades de la promotion Géologie des Bassins Sédimentaires.

Fairouz

#### Résumé

Le bassin de Berkine fait partie de la province orientale de la plateforme Saharienne. Il est l'un des bassins les plus importants en termes de production des hydrocarbures. Il est subdivisé en trois zones pétrolières : la dépression sud-est triasique, la dépression du Dahar et la dépression de Berkine.

Le travail entrepris dans le présent mémoire de fin d'études vise à contribuer à préciser davantage la qualité du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur (TAGI) par l'exploitation des données diagraphiques du Gamma Ray Spectral de cinq puits implantés dans la région du Nord Ahara située au sud-ouest du bassin de Berkine dans les zones limitrophes du bassin d'Illizi.

La mise en œuvre de concepts de stratigraphie séquentielle appliquée au contexte spécifique des environnements fluviatiles sur la base de l'interprétation des morphologies particulières des réponses diagraphiques du rayonnement gamma (GR) ou électro-séquences, calée sur la description des caractéristiques des litho-faciès à partir des carottes, nous a permis d'identifier les séquences de dépôt des unités du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur. L'approche s'est employé à reconnaître les surfaces limites qui individualisent non seulement les séquences de dépôt mais aussi les surfaces limites intermédiaires des sous-unités (électro-faciès) correspondants aux cortèges sédimentaires typiques des environnements sédimentaires de type fluviatile tels que contraints par le fonctionnement et les variations du niveau de base. Les résultats de l'interprétation des enregistrements réalisés sur cinq puits dénommés Well-1, Well-2, Well-3, Well-4 et Well-5, sont ensuite synthétisés sous forme de deux profils de corrélation inter-puits qui nous ont permis d'apprécier les évolutions spatio-temporelles des séquences des unités du réservoir TAGI.

Cette démarche qui combine à la fois une approche de stratigraphie séquentielle et de sédimentologie aura permis d'apporter une contribution à la caractérisation des unités du TAGI dans la région du nord Ahara et d'en appréhender la complexité due à la variabilité des environnements de dépôt qui ont prévalu à la mise en place de leurs formations.

**Mots-clés** : bassin de Berkine ; Nord Ahara ; Trias argilo-gréseux inférieur ; stratigraphie séquentielle ; gamma ray spectral.

#### Abstract

The Berkin bassin is appart of the Eastern province of the Saharan platform; it is one of the most important oil production reservoirs. Devided into three zones: the southeastern Triassic depression, the Dahar depression and the Berkine depression.

Our work aim to specify in better way the reservoir's quality of the Lower clay-sandstone Triassic reservoir, by using the spectral Gamma Rey results from well logging for the five wells located in north Ahara located in southeaster of Berkin basin.

Applying sequential stratigraphy concepts in specific context of fluvial environment, based on particular interpretation of the Gamma Rey results or electrosequences, wedged with lithological description of carrots, we could identify the deposit sequences on the Lower clay-sandstone Triassic unites. Applied approach recognize area limits, either the subunits area limits corresponding to the typical sedimentary cortege in fluvial environment, Interpretation results on the five wells called Well-1, Well-2, Well-3, Well-4, Well-5, are synthesized into two correlation profiles inter-wells that permitted to us to appreciate spacio-temporal evolution of the reservoirs sequences.

This step combine both sequential stratigraphy and sedimentology, has aided to apport a good contributution to the Lower clay-sandstone Triassic characterisation in north Ahara region, and apprehend there complexity due to several variable deposit environments contributed on making on the reservoir.

**Key words:** Berkine basin, North Ahara, Lower clay-sandstone Triassic, sequential stratigraphy, spectral gamma ray.

#### SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et symboles

Introduction générale et problématique

# Chapitre I : Généralités

I. Présentation du bassin de Berkine1
I.1. Cadre géographique1
I.2. Cadre géologique2
II. Lithostratigraphie du Bassin de Berkine2
II.1. Le socle
II.2. Le Paléozoïque
II.2.1. Le Cambrien
II.2.2. Le Cambro-Ordovicien
II.2.3. L'Ordovicien
II.2.4. Le Silurien
II.2.5. Le Dévonien
II.2.6. Le Carbonifère
II.3. Le Mésozoïque
II.3.1. Le Trias
II.3.2. Le Jurassique
II.3.3. Le Crétacé
II.4. Le Cénozoïque5
III. Cadre structural du bassin de Berkine7
III.1. Evolution tectonique du bassin de Berkine
IV. Présentation de la zone d'étude « Nord Ahara »12
IV.1. Situation géographique
IV.2. Situation géologique
V. Systèmes pétroliers13
V.1. Rappels
V.2. La roche mère14
V.2.1. La roche mère du Silurien
V.2.2. La roche mère du Frasnien

V.3.	La roche réservoir	14
V.4.	La roche couverture	15
V.5.	Les pièges pétroliers	15
Concl	usion	17

# Chapitre II: Méthodes d'études

Introduction	18
I. Sédimentologie	19
I.1. Rappels sur les notions de sédimentologie	19
I.1.1. Notion de faciès	19
I.1.2. Notion de discontinuité	19
I.1.3. Notion d'environnement continental	19
I.1.3.1. Environnement fluviatile	19
I.1.4. Notion d'environnement mixte	23
I.1.4.1. Environnement deltaïque	23
I.1.5. Notion des environnements marins	24
I.1.5.1. Le milieu littoral	24
I.1.5.2. Le milieu de talus sous-marin	26
II. La stratigraphie séquentielle	27
II.1. Notions de séquence	27
II.2. La paraséquence	28
II.3. Notions de cortèges sédimentaires	28
II.3.1 Cortèges liés génétiquement au rivage	29
II.3.2 Cortèges et séquences indépendants du rivage	29
II.4. Concept de niveau de base	32
II.5. Notions des surfaces limites de séquence	33
II.6. Notions d'éléctrofaciès et d'électro-séquences	34
III. Les diagraphies	36
III.1. Définition	36
III.2. But des diagraphies	36
III.3. Les paramètres influençant les mesures	37
III.4.1. Les diagraphies acoustiques	38
III.4.1.1. Diagraphie de sonique	38
III.4.2. Les diagraphies électriques	40
III.4.2.1. Les diagraphies de résistivités	40
III.4.3. Les diagraphies auxiliaires	43

III.4.3.1. Le caliper (diamétreur)	43
III.4.4. Les diagraphies nucléaires	44
III.4.4.1. Le Gamma Ray (Radioactivité Gamma)	44
III.4.4.2. Types du Gamma Ray	46
1) Le Gamma-Ray total ou standard	46
2) Le Gamma-Ray spectral	46
2.1. Différentes utilisations des logs du rayon gamma spectral	47
2.2. Principe de la spectrométrie	
2.3. Intérêt de la spectrométrie	
2.3.1. Intérêt minéralogique et sédimentologie	
2.3.2. Intérêt pétrolier (matière organique)	
Conclusion	54

# Chapitre III: Interprétations et applications

I.	Introduction	
II.	Description de la lithologie des formations	56
II.1. Puit	s « Well-1 »	56
II.2. Puit	s « Well-3 »	59
II.3. Puit	s « Well-6 »	63
III. 2 et Well-	Interprétation des données de carottes au niveau des puits « Well-1, W -3 »	ell- 65
IV.	Découpage séquentiel des puits « Well-1, Well-2, Well-3, Well-4, et	
Well-5 »		69
IV.1. Dé	coupage séquentiel du puits « Well-1 »	69
IV.2. Dé	coupage séquentiel du puits « Well-2 »	73
IV.3. Dé	coupage séquentiel du puits « Well-3 »	77
IV.4. Dé	coupage séquentiel du puits « Well-4 »	81
IV.5. Dé	coupage séquentiel du puits « Well-5 »	85
V.	Corrélations Nord-Sud et Est-Ouest entre les puits	88
V.1. Mét	hodologie	88
V.2. Prof	il de corrélation Nord-Sud entre les puits (Well-1, Well-2 et Well-4)	90
V.3. Prof	il de corrélation Est-Ouest entre les puits (Well-2, Well-3 et Well-5)	92
VI.	Découpage lithologique	94
VII.	Conclusion	95

Conclusion générale

Références bibliographiques

# Listes des figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I		
Figure I-01	Situation Géographique du bassin de Berkine et sa position au sein de la plate-forme Saharienne (WEC, 2007).	01
Figure I-02	Carte géologique du bassin de Berkine (SONATRACH, 2003).	02
Figure I-03	Colonne lithologique synthétique du bassin de Berkine (BOUDJEMAA 1987).	06
Figure I-04	Éléments structuraux du bassin de Berkine (Sonatrach, 2003, In MELLA A, et Al, 2006).	08
Figure I-05	coupe géologique du bassin de Berkine (WEC 2007).	10
Figure I-06	Position géographique de la zone Nord Ahara (SONATRACH, 2018).	12
Figure I-07	Représentation d'un système pétrolier et des différents types de pièges (FOURNIER. F, 2011).	13
Figure I-08	Pièges structuraux (FOURNIER. F, 2011).	15
Figure I-09	Piège stratigraphique (FOURNIER. F, 2011).	16
Figure I-10	Pièges stratigraphiques et pièges sédimentaires (FOURNIER. F, 2011	16
Chapitre II		
Figure II-01	Schéma d'un système fluviatile à chenaux en tresse et exemple d'une séquence de comblement. (BOULVAIN.F, 2015)	20
Figure II-02	Schéma d'un système fluviatile à méandres et exemple d'une séquence de comblement. (BOULVAIN.F, 2015)	21
Figure II-03	Morphologie d'un delta. (CLAUDE BACCHIANA.2009)	23
Figure II-04	Classification des deltas. (CLAUDE BACCHIANA.2009)	24
Figure II-05	Zonation d'un milieu marin à sédimentation carbonatée. (BEAUCHAMP.J)	26
Figure II-06	Illustration de l'ensemble des paraséquences. (VAN WAGNOR & AL, 1988)	28
Figure II-07	(A) Cortège de type LAST (cortège de faible accommodation), (B) Cortège de type HAST (cortège de forte accommodation). (CATUNEANU et AL, 2011)	30
Figure II-08	Modèle d'empilement de strates d'une succession entièrement fluviatile et leurs signatures diagraphiques [GR, LLD] (CATUNEANU et AL, 2011)	31

Figure II-09	Paramètres liés aux variations du niveau de base (CHAPUIS et BAUER, 2010)	32
Figure II-10	Séquence, cortège sédimentaires en surfaces stratigraphique définis en relation avec les courbes du niveau marin et la transgression- régression. (CATUNEANU, 2006)	34
Figure II-11	Classification des électro séquences d'après la forme des courbes de Gamma Ray. (BACCHIANA, 2011)	
Figure II-12	Principe des deux types des diagraphies (SONATRACH, 2015)	
Figure II-13	Classifications des diagraphies	38
Figure II-14	Schéma et exemple de log d'une sonde sonique. (BEGHOUL, 2013)	39
Figure II-15	Schéma de principe de la sonde sonique BHC et exemple de log enregistré. (BEGHOUL, 2013)	40
Figure II-16	Schéma des diagraphies de résistivité selon la profondeur d'investigation. (BEGHOUL, 2015)	40
Figure II-17	Principe de focalisation du courant dans une sonde à trois électrodes. (BEGHOUL, 2015)	41
Figure II-18	Schéma de la sonde dual laterolog. (DELALEX, 2007)	41
Figure II-19	Schéma de principe de l'outil Inductolog.	42
Figure II-20	Sonde normale	43
Figure II-21	Sonde latérale	43
Figure II-22	Schéma et exemple de log d'un caliper. (BEGHOUL, 2015)	44
Figure II-23	Schéma de l'outil Gamma Ray et exemple d'un log enregistré en face d'un réservoir. (BEGHOUL, 2013)	45
Figure II-24	Présentation du log spectral des rayons Gamma au niveau du puits «well-1 »	48
Figure II-25	Cross-plot thorium/Potassium pour l'identification des minéraux en utilisant les données de rayons gamma ray spectral. (KLAJA.J& DUKEL.L, 2016)	51
Chapitre III		
Figure III-01	Carte de positionnement des puits « Well-1, Well-2, Well-3, Well-4, Well-5 »	55
Figure III-02	Photos de carottes extraite du puits « Well-1 »	59
Figure III-03	Photos de carottes extraite du puits « Well-3»	62

Figure III-04	Photos de carottes extraite du puits « Well-6»	
Figure III-05	Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du TAGI pour le puits « Well-1 »	
Figure III-06	Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du67TAGI pour le puits « Well-3 »	
Figure III-07	Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du TAGI pour le puits « Well-6»	68
Figure III-08	Découpage séquentiel du puits « Well-1 »	69
Figure III-09	Découpage séquentiel du puits « Well-2 »	
Figure III-10       Découpage séquentiel du puits « Well-3 »		77
Figure III-11	Découpage séquentiel du puits « Well-4 »	81
Figure III-12	Découpage séquentiel du puits « Well-5 »	85
Figure III-13	carte des deux profils de corrélation entre les puits (Well-1, Well-2, Well-3, Well-4 et Well-5)	89
Figure III-14	Profil de corrélation Nord-Sud entre les puits « Well-1, Well- 2 et Well-4 ».	91
Figure III-15	Profil de corrélation Est-Ouest entre les puits « Well-2, Well- 3 et Well-5 ».	93

# Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I		
Tableau I-01	Les phases tectoniques ayant effectuées le bassin de Berkine ainsi que les environnements de dépôt engendrés.	11
Tableau I-02	Tableau comparatif des épaisseurs moyenne des argiles radioactives du bassin de Berkine.	14
Chapitre II		
Tableau II-01	Tableau résumant l'environnement de dépôt fluviatile.	22
Tableau II-02	Tableau résumant les caractéristiques de l'environnement de dépôt marin.	25
Tableau II-03	Les caractéristiques des éléments radioactifs (Thorium, Uranium et Potassium).	49
Tableau II-04	L'importance des trois rapports (Th/U, U/K, Th/K).	53

# Liste des abréviations et symboles

API : American Petroleum Institute.	<b>LL 3 :</b> Laterolog 3.	
A : Facture de proportionnalité	LL7 : Laterolog 7.	
correspondant à l'activité radioactive.	<b>LAST :</b> low accommodation systems	
<b>BHC</b> : Borehole comprensated Sonic.	tract	
<b>BSFR :</b> Surface basale de régression	LST : Lowstand systems tract.	
forcée.	MFS : Maximum flooding surface.	
<b>CC :</b> Correlative conformities.	MRS : Maximum régressive surface.	
DDL : Dual Latérolog.	NGS : Naturel Ray Spectrometry.	
<b>DT :</b> Sonique.	<b>P</b> : Ondes de compression.	
<b>DH</b> : Discordance hercynienne	<b>PN :</b> La petite normale.	
<b>FSST :</b> Falling stage systems tract.	<b>RSME :</b> Régressive surface of marine	
<b>GR :</b> Gamma Ray.	érosion.	
<b>GN</b> : La grande normale.	<b>Rx</b> <sub>0</sub> : Résistivité de la zone lavée.	
$GN_{(lu)}$ : La lecture de rayons Gamma à	<b>Rt :</b> Résistivité de la zone vierge.	
la profondeur d'intérêt.	<b>SB</b> : Surface Bondary.	
<b>GN</b> (max) : La valeur de Gamma élevée.	<b>SB1 :</b> Surface érosive subaérienne 1.	
<b>GN</b> (min) : La valeur de Gamma	<b>SB2 :</b> Surface érosive subaérienne 2.	
III A ST + kick accommodation systems	<b>SB3 :</b> Surface érosive subaérienne 3.	
tract.	<b>SB4 :</b> Surface érosive subaérienne 4.	
HST : Highstand systems tract.	<b>SB5 :</b> Surface érosive subaérienne 5.	
<sup>40</sup> <b>K</b> : Potassium.	SGR : Gamma Ray Spectral.	
LLd : Deep laterolog.	S : ondes de cisaillement.	
LLs : Shallow laterolog.	SU : Discordance subaérienne.	

TC : Trias carbonatée

TAGI : Trias argileux gréseux	VDL : Détecter les fractures.
inferieur.	Vsh : Volume d'argile dans une
TAGS : Trias argileux gréseux	formation.
supérieur	V : pourcentage de l'élément
<b>TRS</b> : Transgressive ravinement	radioactif.
surface.	Ø: Porosité.
<b>TR :</b> Séquence transgressive régressive.	$\Delta t$ : Temps de transit en microseconde par pied.
<b>TST :</b> Transgressive systems tract.	<b>ρ</b> : Densité.
<sup>232</sup> <b>TH :</b> Le Thurium.	<b>ρb</b> : Densité globale.
<sup>238</sup> U :L'Uranium.	": Pouce $(1" = 2,45 \text{ cm})$ .

#### **Introduction et problématiques**

Compte tenu de la croissance de la demande en énergie dans le monde en général et en Algérie en particulier, la SONATRACH cherche à développer au mieux sa production d'hydrocarbures. A cet effet, elle s'est attelée à s'engager sur de nouvelles pistes d'exploration pour s'ouvrir de nouveaux horizons. C'est dans ce sens que plusieurs études ont été entreprises sur le champ de Berkine dont on essaie de comprendre davantage les qualités de ses réservoirs pour une estimation réaliste de leurs potentialités.

C'est dans ce contexte, que la thématique de ce mémoire a été proposée et arrêtée d'un commun accord avec la Division Exploration de La Sonatrach sous l'intitulé « Utilisation du Gamma Ray Spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région du Nord Ahara du bassin de Berkine ».

Le présent travail vise donc à réaliser le découpage séquentiel des unités du réservoir du TAGI sur la base de l'exploitation des enregistrements diagraphiques et de l'analyse des données de carottes de cinq puits implantés dans cette région.

L'objectif final du travail entrepris est d'arriver à l'identification des faciès présents dans les formations en vue de remonter aux environnements de dépôt qui ont prévalu à leur mise en place. Cette démarche consiste à identifier les séquences et cortèges sédimentaires qui structurent les unités du réservoir TAGI par l'interprétation des morphologies particulières des électro-faciès et électro-séquences exhibés par les réponses diagraphiques, spécifiquement par le GR.

Dans le bassin de Berkine, le Trias argilo-gréseux inférieur est parmi les réservoirs les plus potentiels dont l'essentiel des formations est principalement constitué de sédiments continentaux fluviatiles. Il répond à une lithologie de grès à grains fins à moyens et parfois grossiers, siliceux à silico-argileux, localement pyriteux, friables à moyennement consolidés, avec intercalations d'argiles. Ce qui n'est pas sans poser un certain de problèmes liés notamment à ces particularités lithologiques et aux spécificités des environnements fluviatiles qui le caractérisent. Dès lors, l'identification des faciès et des environnements de dépôt et tout aussi complexe, répondant à la logique d'une stratigraphie séquentielle adaptée, notamment par le fait que les séquences, les cortèges rencontrés et les surfaces limites qui les définissent obéissent beaucoup plus à la cyclicité et la dynamique des variations du niveau de base.

# CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

Utilisation du Gamma Ray spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) dans la région du Nord Ahara du Bassin de Berkine

Master- Géologie des bassins sédimentaires

HAMLAOUI, L & OULD YOUCEF, F (2021)

# I. Présentation du bassin de Berkine

La plateforme saharienne s'étend entre les deux boucliers du « Hoggar et Eglab » au Sud et l'Atlas Saharien au Nord, elle est structurée en plusieurs bassins sédimentaires d'avant pays et intracratonique dont fait partie le bassin de Berkine.

# I.1. Cadre géographique

Le bassin de Berkine constitue la partie Nord Orientale de la plateforme Saharienne. Il se situe approximativement entre les latitudes 29° et 30° Nord et les longitudes 3° et 9° Est. Il s'étend sur trois pays : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La plupart des affleurements de ce bassin sont recouverts par les dunes de sable du grand Erg Oriental (figure I-01).



Figure I-01 : Situation géographique du bassin de Berkine et sa position au sein de la plateforme saharienne. (WEC, 2007)

# I.2. Cadre géologique

Le bassin de Berkine est de type intracratonique et se situe dans la partie Nord-Est du grand Erg oriental de la plateforme saharienne. Ce bassin occupe une aire totale près de 300.000 Km<sup>2</sup>, mais seulement 102 395 Km<sup>2</sup> sont situé dans le territoire Algérien. Il est limité au Nord par le Môle de Dahar, au Sud par le Môle d'Ahara qui le sépare du bassin d'Illizi, à l'Est par le bassin de Syrte entre la Tunisie et la Libye et à l'Ouest par le Môle d'Amguid El Biod et Hassi Messaoud. (Figure I-02).



Figure I-02: Carte géologique du bassin de Berkine. (SONATRACH, 2003)

# II. Lithostratigraphie du Bassin de Berkine

La colonne stratigraphique du bassin de Berkine comprend de bas en haut les séries suivantes :

# II.1. Le Socle

Il est constitué de roches précambriennes sur lesquelles s'est déposée la couverture sédimentaire qui comporte les formations des Paléozoïques, Cénozoïques et Mésozoïques.

# II.2. Le Paléozoïque

Le Paléozoïque englobe :

# II.2.1. Le Cambrien

Le Cambrien est composé d'une sédimentation fluviatile mal définie en raison d'absence des marqueurs pour réaliser une datation relative à base de faune caractéristique. (MALLA.A et OUYAHIA.S, 2016)

# II.2.2. Le Cambro-Ordovicien

Le passage du Cambrien à l'Ordovicien est marqué par une zone de transition appelée le Cambro-Ordovicien qui est composée de deux ensembles. Un ensemble basal constitué d'une alternance de grès fins à moyens admettant des passées d'argiles et de silts à Glauconites et des tigillites et un ensemble sommital constitué d'une alternance d'argiles, de Silts et de grès fins à glauconites appelée zone des alternances. (MALLA.A et OUYAHIA.S, 2016)

#### II.2.3. L'Ordovicien

Il est d'une épaisseur de 250 m, l'Ordovicien est essentiellement détritique. Il est constitué de bas en haut par :

- Des argiles noires bitumineuses (Argiles d'EL Gassi).
- Des grès ou parfois des conglomérats et des passées de silts et d'argiles noires (Grès d'El Atchane).
- Des quartzites compacts (Quartzites de Hamra).
- Des grès fins à moyens quartziques (Grès d'Ouargla).
- Des argiles noires, silteuses et micacées à minces passées de silts argileux et de grès oolithiques (Argiles d'Azzel).
- Des grès fins à moyens argileux et quartzitiques, dolomitiques et micacés à intercalations d'argiles silteuses faiblement carbonatées à oolithes (Grès d'Oued Saret).
- Des Argiles micro conglomératiques.

Enfin, la série ordovicienne se termine par les grès de Ramade dont la base est constituée de grès quartzitiques et fines passées d'argiles auxquels font suite des grès quartzitiques de la dalle M'Kratta. (MALLA.A et OUYAHIA.S, 2016)

#### II.2.4. Le Silurien

Il comprend des faciès essentiellement argileux, il débute par les argiles à graptolithes. Celleci sont grises à noires riches en graptolithes avec des grains de quartz fins et quelques passées de grès blancs à gris sombres fins avec présence de pyrite. Ces argiles sont surmontées par des faciès qualifiés d'argilo-gréseux (alternance d'argiles grises silteuses à silt sableuses tendres, rarement carbonatées et de grès gris à clairs, fins à moyens subarrondis généralement bien classés en silico-argileux et moyennement durs). (MALLA.A et OUYAHIA.S, 2016)

# II.2.5. Le Dévonien

Il comprend de bas en haut, la succession litho stratigraphique suivante :

- Des argiles gréseuses à faciès très variables qui forment le Dévonien inférieur.
- Des argiles gréseuses moins développées et présentant quelques variations par rapport aux faciès sous-jacents qui constitue le Dévonien moyen.
- Des argiles gris noires à brunes foncées avec des intercalations de calcaires argileux et gréseux qui forment le Dévonien supérieur.

# II.2.6. Le Carbonifère

Il représente le Paléozoïque terminal dans les domaines occidentaux, il est constitué essentiellement d'argile noire dans laquelle s'individualisent des corps gréseux, entrecoupés par de nombreux bancs de calcaire. L'épaisseur des formations du Carbonifère est de 900 m.

# II.3. Le Mésozoïque

#### II.3.1. Le Trias

Il est représenté par des dépôts argilo-gréseux et évaporitiques, il est subdivisé en 3 niveaux :

- Le Trias argilo-gréseux inferieur (TAGI) : la base de la série est formée en général de conglomérats rouges à bruns et de grés grossiers à moyens, au sommet il est représenté par une alternance de grés et d'argile.
- Le Trias carbonaté (TC) : Il est constitué d'argile brun rouge, rarement grise verte à éléments fins à moyens devenant grossiers vers le bas avec d'intercalation d'argile gris vert et brunâtre indurée, siliceuse et feuilletée.
- Le Trias Argilo-Gréseux supérieur (TAGS) : il est constitué de grés blancs fins à moyens parfois grossiers à ciment argileux avec des intercalations d'argile rouge et gris verdâtre.

La série supérieure est surmontée par un membre argileux, généralement de faible épaisseur qui se termine parfois par un banc d'anhydrite ou de dolomie de résistivité élevé.

Ce membre argileux est d'ailleurs un excellent marqueur pour les corrélations diagraphiques dans le Trias. L'épaisseur du Trias est d'environ 160m.

# **II.3.2.** Le Jurassique

Avec une épaisseur de 770 m, il est composé de sédiments marins lagunaires. À sa base se trouve un niveau dolomitique caractéristique et omniprésent appelé l'horizon B.

# II.3.3. Le Crétacé

A une épaisseur de 700 m environ, il débute par le Néocomien et se termine par la série carbonatée du Sénonien, il est composé d'alternances des grés, d'argile, de dolomie et de calcaire ainsi que de quelques passées d'anhydrite, de gypse et de sel. Vers le sommet il devient essentiellement carbonaté.

# II.4. Le Cénozoïque

Le Cénozoïque est marqué par la reprise d'une sédimentation détritique et continentale (terrigène) qui annonce une régression généralisée sur toute la plate-forme saharienne y compris le bassin de Berkine.

	Age	Formation	Lithologie	Environnement de dépôt
8	QT	Quaternaire	Grés	Alternance
X	TERT	Mio-Pliocène	Grés,Dolomie/Calcaire	Marin - Lagunaire
		5 Carbonates	Dolomie, Argile	Altornanco
	Ś	Anhydrite Sel	Anhydrite,Dolomie	Marin - Lagunaire
	2	Turonien	Sel	
0	Ste	Cenomanien	Calcaire,Argile	
ň	Ľ	Albien	Grès,Lignite	
Ϊġ	n	Aptien	Dolomie	
0		Barremien	Grés, Argiles, Lignites	Fluvio-Lacustre
6		Néocomien	Argiles, Grés, Dolomie	Continental
SS		Malm	Arailes.Grés, Anhydrite, Dolomie	
ž	10	5 Argileux	Argiles	
4	Ъ	Lagunaire	ArgilesCalcaire	Laguno-marin
	sis	Anhydrite	Anhydrite Aroiles	
	as	Sel	Sel	
	Ξ	Horizon B \$1+\$2	Calcaire Anhydrite Arniles	
		83	Sel	Lagunaire
		D2	Argiles,Anhydrite	Continental
	as	S2	Sel	
	Tri	ARG/CARB/TAGS	Argiles, Silts, Anhydrites, Dolomie	
-		TAGI	Grés, Silts, Argiles rouges	Discordance Hercynienne
	ière		Argiles,Grés	Fluvio-lacustre
ne	Carboni	RKF	Grés,Argiles	marin-continental peu profond
pïq		Strunien	Grés,Silts,Argiles	
N.	c	Famménien	Argiles	
0	ie	Frasnien	Argiles	
lé	on	Givétien-Eifelien	Argiles	Marin profond
Pa	év	Emsien	Grés, Argiles	
	Δ	Siegenien	Grés,Argiles	
		Gédinien	Grés Massif	Marin peu
	Series	Silurien	Argiles	FIDIDIIU
	1	Ordovicien	Grés, Argiles	
	J.S.	Cambro-Ordovicien	Grés, Argiles	
	CAMB	Cambrien	Grés	Deltaïque

Figure I-03 : Colonne lithologique synthétique du bassin de Berkine (BOUDJEMAA, 1987).

# III. Cadre structural du bassin de Berkine

Le bassin de Berkine est caractérisé par de nombreuses fracturations, résultat d'une histoire structurale polyphasée. Le style structural est dominé par des failles subverticales qui impliquent le socle et par la réactivation périodique du gain structural antérieur aux différents événements tectoniques qui se succèdent dans la région.

Les failles qui résultent de la tectonique cassante, ayant affecté les deux domaines sont multidirectionnels. Les études structurales ont montré que les accidents NE-SW seraient dus principalement aux mouvements distensifs à la fin Trias / début Jurassique. Les failles régionales ont défini des trends structuraux majeurs sur lesquels viennent se greffer les pièges et gisements d'huile et de gaz dans le bassin. Les principales orientations observées sont :

#### a) Direction subméridienne

Les failles subméridiennes se caractérisent par de forts rejets, pouvant atteindre 2000 m comme dans le cas de la faille de Ramade et 500 m et plus dans la région de Rhourde Nouss, avec des structures de grandes amplitudes (la structure de Rhourde Nouss atteint 900 m de fermeture structurale).

#### b) Direction Nord-Est/Sud-Ouest

Les failles NE-SW sont caractérisées par une composante de décrochement importante avec ramification dans la partie supérieure. Les structures associées sont des blocs basculés ou des structures 'en fleur', cette direction interfère avec la direction subméridienne.

Sur la majorité des rejeux tectoniques à caractère inverse (faille inverse) s'appuient des structures anticlinales allongées formant des pièges à hydrocarbures dans le TAGI et le TAGS.



Figure I-04 : Éléments structuraux du bassin de Berkine. (SONATRACH, 2003)

# III.1. Evolution tectonique du bassin de Berkine

Au plan structural du bassin c'est le résultat de nombreuses phases tectoniques compressives qu'a connues la plate-forme saharienne. Ces différentes phases se traduisent par la déformation et l'érosion des sédiments qui se résument dans les phases suivantes :

# \* L'orogenèse Panafricaine

C'est une phase compressive, elle résulte d'une collision continentale entre le Craton Ouest africain rigide et le Craton Est africain plus plastique qui a engendré des failles subméridiennes et des reliefs précambriens. Ses derniers sont d'âge cambrien.

# L'orogenèse Calédonienne

C'est une phase compressive, elle est à l'origine du passage brutal du milieu marin à l'installation d'un milieu continental, prédominé par un faciès gréseux. Cette orogenèse comporte également une phase orogénique dite phase Taconique.

Cette phase est une phase de compression le long des accidents subméridiens nord-sud, donnant ainsi naissance à l'architecture actuelle du bassin.

Il comporte ainsi un mouvement distensif en distension Silurienne qui a suivi la fonte des calottes glaciaires Ordoviciennes et engendré des dépôts d'argiles noires.

# L'orogenèse Hercynienne

C'est l'événement majeur qui termine le cycle sédimentaire du Paléozoïque avec deux directions de serrage majeur suivies d'une érosion importante et progressive des séries Paléozoïques du Sud-Est vers le Nord-Ouest. On y distingue deux phases :

 $\bullet$  La phase secondaire précoce ou régime des contraintes correspondant à une compression de direction N  $040^\circ$ 

• La phase principale tardive de direction N 120° Le bassin de Berkine a été basculé vers le Sud-Est pendant cette phase, ce qui a engendré une érosion intense des formations au Nord-Ouest et la préservation du Sud-Est.

# L'orogenèse Alpine

# • Phase Autrichienne (Crétacé)

Elle est caractérisée par des mouvements compressifs (Est/Ouest) elle est à l'origine de la plupart des pièges localisés dans l'Ouest du bassin. Ces mouvements se traduisent par :

• Le jeu inverse des accidents subméridiens, avec création des plis d'enchaînement des accidents, et de plis de même orientation.

• Le jeu en décrochement dextre avec création des plis d'entraînement des accidents d'orientation Nord-Est/Sud-Ouest.

#### • Phase pyrénéenne (Paléogène)

C'est une phase compressive de direction Nord-Est/Sud-Ouest qui a donné naissance à de nombreux anticlinaux visibles sur la morphologie actuelle du bassin.



Figure I-05 : Coupe géologique du bassin de Berkine. (WEC, 2007)

Période max d'activité	Direction de la contrainte	Effet sur le système de failles	Effet sur la sédimentation
Post-villafranchienne (L.ALPIN)	↓ ○ ↑ N-S	Basculement et inversion de blocs. Période final de compression dans le domaine atlasique.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.
MIOCEN	N-S et NW-SE	Episode de compression majeur dans le domaine atlasique.	Sédimentation prédominante de flysch au Nord.
EOCENE (PYRENEENNE)	N-S	Début de chevauchement au Nord résultant de la convergence de la plaque européenne avec la plaque africaine. Décrochement de la faille Sud Atlasique.	
CRETACE INFERIEUR (AUTRICHIENNE)	E-W SE-NW	Réactivation des décrochements des failles N-S et NE-SW. Résultat des mouvements différentiels de la plaque européenne et la plaque africaine.	Erosion des sédiments du L.Cret sous l'aptien. (L'arche d'El Biod et Illizi) effet léger sur le bassin de Ghadamès)
TRIAS- LIAS Rifting (Dislocation de la Pangée)	-SE NW	Réactivation des failles NE-SW.	Control de la sédimentation par les failles entrainant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW.
CARBONIFER SUP à PERMIEN (HERCYNIEN PRINCIPALE).	N1 20	Inversion ou décrochement le long des failles NE-SW (résultant de la formation de la pongée).	Erosion sur les axes NE-SW.
VISEEN (HERCYNIEN PRECOCE)	O N040	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles NW- SE. Début de la formation de la chaine varisque.	Erosion sur Tihemboka et soulèvement de l'Ougarta.
CALIDONIENNE Siluro-Dévonienne	➡○← W	Mouvement inverse le long des failles N-S	
TACONIC (Caradoc- Achegilien)	E-W	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation de structures N-S	Soulèvement du bouclier Réguibat et Touareg. Erosion le long des zones Hautes d'orientations N-S et E-W (Mole D'Ahara).
COMBRO- ORDOVICIENNE	SE NW-	Mouvement normal le long des failles NE-SW.	Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par les failles. Basculement NW de la plateforme saharienne. Volcanisme
PANAFRICAINE	→ ○ ← <sub>E-</sub>	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées N-S.	Compartiment du craton du Sahara central.

**Tableau I-01**: les phases tectoniques ayant affectées le bassin de Berkine ainsi que les environnements de dépôt engendrés.(BOUDJEMAA, 1987)

# I. Présentation de la zone d'étude « Nord Ahara »

# **IV.1.** Situation géographique

La région d'étude est située au niveau des blocs 212a, 212b et 405a.Elle couvre une partie des périmètres Menzel Ledjmet et El Ouar Est.

Cette zone se situe dans le domaine central sud-ouest du bassin de Berkine qui constitue une cuvette multi cycles, la région est caractérisée par une topographie dunaire importante qui peut atteindre 400 m de hauteur par endroit.

Cette zone se trouve sur le flanc Est de l'axe de subsidence Mésozoïque de direction approximative nord-sud. (SONATRACH, 2019).



Figure I-06 : Position géographique de la zone Nord Ahara. (SONATRACH, 2019).

# IV.2. Situation géologique

Le môle d'Ahara est une structure anticlinale orientée globalement Est-Ouest qui sépare le bassin de Berkine situé au nord du bassin d'Illizi au sud. Sa morphologie n'est visible qu'en profondeur, étant recouvert d'une épaisse couche de sédiments d'âge Carbonifère et Mésozoïque.

La structure plonge vers l'Ouest passant au sillon de Marfag qui constitue un dépocentre Paléozoïque orienté Nord-Sud. La série Paléozoïque est cependant très érodée au niveau du Haut de Maouar par la discordance hercynienne. Vers l'Est, le Môle d'Ahara interfère de manière complexe avec la structure Nord-Sud de Tihemboka. (SONATRACH, 2019)

# II. Systèmes pétroliers

# V.1. Rappels

Un système pétrolier est défini par une roche mère, réservoir, couverture et des pièges. Des processus d'expulsion, migration secondaire et d'accumulation leur sont nécessaires pour l'emmagasinement des hydrocarbures dans des pièges structuraux et /ou stratigraphiques, qui doivent être mis en place avant la phase des hydrocarbures, qui est impérative pour leur exploitation.



**Figure I-07:** Représentation d'un système pétrolier et des différents types de pièges. (FOURNIER. F, 2011)

# V.2. La roche mère

La roche mère, élément essentiel dans le système pétrolier, doit contenir de la matière organique. Celle-ci se présente soit sous forme dispersée et dépassant rarement les 5% dans les argiles, soit sous forme accumulée dans les charbons.

Les deux systèmes pétroliers du bassin de Berkine sont associés aux roches mères du Frasnien et du Silurien basal. Cette double origine induit une distribution complexe des fluides (gaz, gaz à condensat et l'huile).

# V.2.1. La roche mère du Silurien

La roche mère principale pour les réservoirs Paléozoïques est issue des argiles radioactives de la base du Silurien. Son épaisseur varie de 5 à 30 mètres dans la région du Nord Ahara.

Deux phases de génération sont connues pour le Silurien, une première au Carbonifère et une deuxième post-Hercynienne. La génération et la migration d'huile s'est faite probablement pendant le Carbonifère, juste avant la phase Hercynienne.

# V.2.2. La roche mère du Frasnien

Les argiles anoxiques du Frasnien radioactif constituent la seconde roche mère principale du bassin de Berkine. Son épaisseur varie de 15 à 60 mètres. La roche mère du Frasnien est de type I-II et elle essentiellement dans la fenêtre à huile jusqu'à l'actuel sur la région d'Ahara.

La phase de génération et migration pour le système Frasnien s'est produit pendant la subsidence Mésozoïque.

Roche mère du bassin de Berkine	Epaisseur moyenne	C.O. T
Les argiles radioactives du Silurien	30-40 m	3.5-17 %
Les argiles radioactives du Frasnien	10-30 m	2.5-6.6 %

 Tableau I-02 : tableau comparatif des épaisseurs moyenne des argiles radioactives du bassin de Berkine.

# V.3. La roche réservoir

Une roche réservoir est une roche suffisamment poreuse et perméable, capable de contenir et laisser circuler des hydrocarbures. Il s'agit des grès, sables, carbonatés (calcaires, dolomies) ou des roches fissurées.

La porosité des roches réservoirs est comprise en général entre 5 à 30 % du volume total de la roche. Le Paléozoïque comprend des réservoirs bien développés et régulièrement distribués dans tous les bassins du Cambrien, de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien et du Carbonifère.

# > Le réservoir Trias Argileux Gréseux Inférieur (TAGI)

Au niveau de la région du Nord Ahara, le Trias Argilo-Gréseux Inférieur(TAGI) est formé de dépôts fluviatiles, dont les propriétés réservoirs sont souvent très bonnes. Le TAGI est caractérisé par plusieurs niveaux gréseux correspondant à des empilements de chenaux dont les porosités varient entre 15 à 20%.

# V.4. La roche couverture

Une roche couverture est une roche imperméable. Son rôle principal est la préservation des hydrocarbures accumulés dans les roches réservoirs. La roche couverture de la plateforme Saharienne comprend un certain nombre de niveaux du Paléozoïque au Mésozoïque.

# > La couverture du réservoir TAGI

La couverture du réservoir Trias Argilo-Gréseux Inférieur est assurée par les argiles du Trias Carbonaté.

# V.5. Les pièges pétroliers

Les pièges pétroliers sont des structures géologiques qui emmagasinent les hydrocarbures. Ils sont de trois types :

• Les pièges structuraux : correspondant à des structures géologiques qui permettent l'accumulation des hydrocarbures comme les plis et les failles.





- Les pièges stratigraphiques : correspondant à des zones de variation latérales de facies et donc de porosité et de perméabilité.
- Cas de piège sous discordance angulaire : le réservoir est tronqué et non conformément recouvert par des couches couvertures (imperméables)



Figure I-09 : piège stratigraphique. (FOURNIER. F, 2011)

• Les pièges mixtes : combinant les structures géologiques et lithologiques, comme les diapirs de sel.



Figure I-10: Pièges stratigraphiques et pièges sédimentaires. (FOURNIER. F, 2011)

Dans la zone « Nord Ahara », les pièges sont de type structural (anticlinal délimité par des failles inverses de directions NE-SO et E-O).

# Conclusion

Le bassin de Berkine à subit une forte sédimentation durant le Paléozoïque et le Mésozoïque, donnant naissance à une épaisse série sédimentaires. Il est classé parmi les plus importants bassins producteurs des hydrocarbures dans le Sahara Algérien.

Le réservoir Trias argilo-gréseux inférieur constitue le centre d'intérêt du présent travail qui s'appuie sur les mesurés obtenues à partir de la mise en œuvre des méthodes diagraphiques et sédimentologiques. Ces dernières seront développées dans le chapitre suivant.

# CHAPITRE II : MÉTHODES D'ÉTUDES

Utilisation du Gamma Ray spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) dans la région du Nord Ahara du Bassin de Berkine

Master- Géologie des bassins sédimentaires

HAMLAOUI, L & OULD YOUCEF, F (2021)
# Introduction

L'étude des formations de la région « Nord Ahara » du bassin de Berkine a nécessité en le présent travail la mise en œuvre des méthodes sédimentologiques et géophysiques telle que :

- ✓ La stratigraphie séquentielle.
- ✓ Les méthodes diagraphiques (Gamma Ray Spectral).

Notamment les diagraphies pour analyser les propriétés des formations du réservoir TAGI, au vu de leurs caractéristiques lithologiques. Cette approche nous permet d'identifier les facteurs ayant contribué à la mise en place de ces formations par une caractérisation paléogéographique des environnements de dépôts dans la région « Nord Ahara ».

Les méthodes géophysiques telles que les diagraphies apportent une aide considérable dans la détermination des roches traversées et leurs séquences et cortèges sédimentaires, elles permettent de détecter les substances minérales utiles (pétrole, gaz...). Elles facilitent d'établir des corrélations entre les puits, interpréter qualitativement les renseignements obtenus pour en déduire les paramètres de productions et l'étude des réservoirs, et aussi vérifier et corriger les côtes des données relatives à la colonne lithologique établie habituellement grâce aux déblais, récupérés en instantané durant le forage des puits.

# I. Sédimentologie

La reconstitution des environnements de dépôts du « Nord Ahara » nécessite une approche sédimentologique comprenant plusieurs étapes, telle que la description des carottes basée essentiellement sur la lithologie, les structures sédimentaires et les critères biostratigraphiques (fossiles et autres bioturbations). Ces caractéristiques permettent de regrouper les différents types de sédiments en litho faciès dans le but de pouvoir les identifier d'après leurs réponses diagraphiques. Les faciès sont interprétés en termes de processus et milieux de dépôts.

# I.1. Rappels sur les notions de sédimentologie

## I.1.1. Notion de faciès

On définit généralement un faciès comme étant une masse de roche sédimentaire qui peut être distingué des autres par cinq paramètres : la géométrie, la lithologie, la paléontologie et les structures sédimentaires. (O. SERRA. 1985).

Les études de faciès sont importantes car leur connaissance et leur analyse fournissent les bases de l'interprétation environnementale et unités stratigraphiques.

## I.1.2. Notion de discontinuité

Les discontinuités traduisent un arrêt de la sédimentation accompagné ou non d'une érosion, elles permettent aussi de définir les séquences, de déterminer leur ordre et les cortèges sédimentaires.

## I.1.3. Notion d'environnement continental

## I.1.3.1. Environnement fluviatile

Les rivières sont surtout des agents de transport. Les sédiments se déposent en général, aux endroits où la vitesse et l'énergie du courant transporteur sont à leur minimum. Les caractères du réseau fluviatile (l'indice de sinuosité et le nombre de chenaux), déterminent les formes d'accumulations. Le type de réseau dépend essentiellement de la pente, de la charge transportée et de la stabilité des rives (rôle stabilisant de la végétation). Tous les intermédiaires existent. Une même rivière change le type de sa source à son embouchure. Le réseau est généralement en tresse en amont et à méandres en aval par contre les réseaux droits sont rares et les réseaux anastomosés sont observés dans les zones subsidences du climat humide. Les réseaux en tresse et méandriformes sont les plus fréquents. (BOULVAIN F, 2015).

Une rivière dépose dans son ou ses chenaux, formant son lit mineur, des amas de galets et sables appelés barres. Lors des crues, elle envahit sa plaine d'inondation et y dépose des matériaux généralement plus fins, les limons, contenant une forte proportion d'argile formant des séquences positives qui débutent par un pavage de galets et se terminent par des limons de plaine d'inondation, montrant des traces de sols et de végétation. Cette sédimentation diffère d'un réseau à un autre, on distingue :

## • La sédimentation des réseaux en tresse :

Les rivières en tresse sont rapides, on les trouve dans les régions montagneuses, leurs dépôts ressemblent beaucoup à ceux des cônes torrentiels, ils se déposent sous forme de barres longitudinales, qui séparent les chenaux (Figure II.01). Ces barres deviennent obliques (transversales) dans les courbes, elles sont mobiles et s'accroissent dans le sens de courant "accrétion longitudinale", leur forme dépend de la charge et du débit. Elles sont constituées de galets imbriqués qui tombent en aval, de graviers, de sables à litages entrecroisés. Elles sont souvent ravinées par le déplacement des chenaux. (BOULVAIN F, 2015)



Figure II-01 : Schéma d'un système fluviatile à chenaux en tresse et exemple d'une

Séquence de comblement. (BOULVAIN F, 2015)

## • La sédimentation des réseaux à méandres :

La sédimentation se fait sur la rive convexe, sous forme d'une barre de méandre. Cette précédente s'accroit latéralement en même temps que la migration du méandre (accrétion latérale). Elle est constituée de sables déposés en litages obliques de grande taille.

# **Chapitre II**

Le chenal est bordé par des levés qui le séparent de la plaine d'inondation couverte de dépôts fins et son fond est pavé de galets (Channel lag). Si une levée est crevée pendant une crue, des sables se déposent dans la plaine d'inondation sous forme d'un micro delta de crevasses (crevasses splay), déposant des limons et des argiles propices à formation d'un sol, renfermant des lentilles décamétriques de sables et de galets qui correspondent à la divagation des chenaux méandriformes (Figure II.02). (BOULVAIN F, 2015).



Figure II-02 : Schéma d'un système fluviatile à méandres et exemple d'une séquence de Comblement (BOULVAIN F, 2015).

Après la diagenèse, les sédiments fluviatiles donnent des conglomérats, grès, silt et des argiles. Les séquences fluviatiles sont généralement granodécroissantes (elles sont dites positives), avec un niveau de galets à la base et des limons au sommet.

Parmi les structures sédimentaires, on trouve en particulier des rides lingoïdes (en forme de langue) et des grands litages obliques quand le réseau est méandriforme. Les structures orientées (litages obliques, imbrications), montrent un courant en moyenne unidirectionnel.

Les fossiles sont généralement absents, on retrouve seulement des traces d'activité organique dans les limons (terriers, racines). (BOULVAIN F., 2015).

Domaine de Sédimentatio n	Environnement	Faciès	Structures sédimentaires	Type de séquence (diagraphies GR)
	Fluviatile: sédiments qui s'accumulent par ruissèlement d'eau			
Continental	Système Fluviatile en tresse: -Zone à gradient topographique important. -Charge sédimentaire variable. -Faible sinuosité majeur.	Dépôts de chenaux: -Se manifestent par des séquences à bases érosives. -Dépôts grossiers. Dépôts de barres: -forment le sommet des séquences, sable moyen à fin.	-Stratifications de type feston. -Stratifications obliques. Rides et laminations planes.	Séquence en forme cylindrique à évolution strato-grano- décroissante.
	Système Fluviatile à méandres: -Pourcentage d'argiles plus important. - Un seul chenal unique très sinueux.	<ul> <li>-Dépôts de chenaux à prédominance sableuse, grossière à la base.</li> <li>-Dépôts fins au sommet.</li> <li>-Alternance de sable fin et des argiles à l'extrême sommet avec des traces de racines.</li> </ul>	-Stratifications obliques. -stratifications entrecroisées. -Laminations parallèles et traces de racines.	Séquence en forme de cloche à évolution granodécroissa nte

Tableau II-01 : Tableau résumant l'environnement de dépôt fluviatile.

## I.1.4. Notion d'environnement mixte

#### I.1.4.1. Environnement deltaïque

Un delta est un domaine intermédiaire représenter par la terminaison d'un cours d'eau à forte charge en matériel détritique dans la mer, dans un lac ou dans un autre cours d'eau.

On peut subdiviser un delta en trois sous-environnements :

- La plaine deltaïque : est le prolongement de la plaine alluviale. Elle est parcourue par un réseau de chenaux ramifiés, les distributaires. Entre les chenaux s'étendent des zones marécageuses et garnies de végétation sous climat humide.
- Le front deltaïque : est le prolongement de la plaine deltaïque sous la mer.
- Le pro delta : est la partie la plus externe et la plus profonde du delta ; il repose sur les sédiments marins de la plate-forme littorale. (CLAUDE BACCHIANA, 2009)



Figure II-03 : Morphologie d'un delta (CLAUDE BACCHIANA, 2009).

La morphologie des deltas reflète l'importance relative des processus fluviaux, de marée, ou des vagues ainsi que les pentes et l'apport sédimentaire.

Les deltas dominés par les rivières : se forment là où la marée est très faible avec une énergie de vagues limitées, où la progradation des lobes deltaïques est importante et la redistribution des barres d'embouchures est limitée.

- Les deltas dominés par les vagues : sont caractérisés par des barres d'embouchures retravaillées en corps sableux parallèles à la côte et en plages.
- Les deltas dominés par les marées : montrent des replats de marée argileux et des barres d'embouchure qui sont retravaillées en corps sableux allongés perpendiculaires à la côte. (CLAUDE BACCHIANA, 2009)



Figure II-04 : Classification des deltas (CLAUDE BACCHIANA, 2009).

## I.1.5. Notion des environnements marins

## I.1.5.1. Le milieu littoral

Le littoral est caractérisé par les apports fluviatiles, l'effet des houles et des tempêtes et enfin l'influence des marées, l'un ou l'autre de ces facteurs pouvant dominer. Il comprend la ligne de côte et une bande immergée de largeur variable dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et qui correspond à la plate-forme littorale. La ligne de côte comprend (les plages, les falaises et la partie du continent soumis plus ou moins directement à l'action de la mer : dunes littorales, marins côtiers, estuaires...). La nature de la sédimentation littorale, dépend essentiellement des apports détritiques du continent et de la productivité biologique. Ces deux facteurs dépendent eux-mêmes de la latitude et du climat. Dans les régions tempérées et froides, les matériaux détritiques dominent leur composition siliceuse : on parle de sédimentation silicoclastique (Tableau II.02). (BOULVAIN F, 2015).

Domaine de sédimentation	Environnement	Le facies	Structures sédimentaires caractérisées
	Zone néritique: Correspond à la zone de la plateforme continentale.	Elémente fine	
	Zone supra tidale: peut évoluer en lagune de basse énergie.	évaporitiques, dunes aquatiques formées de carbonates. Brèches d'érosion formées sous l'effet des	-Traces de racines, fentes de dessiccation et figures d'émersion.
Solution of the second	Zone intertidale: souvent immergée, elle est soumise à l'action de la marée.	tempêtes. -Dépôts de haute énergie. -Boue argileuse ou carbonatée, sédiments carbonatés (bioclastes en forme de mudstone et wackestone) -Dépôts de type flysch. Deep sea fan de haute énergie. Boue si l'énergie est faible. -Boue argileuse siliceuse.	-Stratifications entrecroisées, Herring bones net rides de courants.
	Zone infra tidale: Immergée en permanence sous l'eau. Zone bathvale: talus et		-Laminations planes.
	glacis. <u>Zone abyssale</u> : zone de basse énergie, froide et calme.		

Tableau II-02 : Tableau résumant les caractéristiques de l'environnement de dépôt marin.

### I.1.5.2. Le milieu de talus sous-marin :

Le domaine marin est défini par opposition au domaine continental (Figure II.05). Il comprend les océans et les mers recouvrant en grande partie une croûte océanique et les mers épicontinentales sur une croûte continentale. Leurs traits les plus caractéristiques sont l'étendue de leur surface et la salure de leur eau. Le domaine marin couvre près des trois quarts de la surface du globe. Des sédiments détritiques rythmés se déposent en bas du talus par les courants de turbidité (BOULVAINF, 2015).

MILIEUX	PLATE-FORME INTERNE		BARRIERE	PLATE-FORME EXTERNE		
ETAGE	Supratidal (supralittoral)	Intertidal (médiolittoral)	Subtidal (infralittoral)	Barre ou Barrière (Récif)	Marin (circalittoral)	ouvert
						HAUTE MER
				7	Jun /	BASSE MER L.I.A.V.T.(*)
					M	
ENERGIE	variable	moyenne à basse	basse	trés forte	moyenne	basse
FAUNE	limnique saumâtre ou sursalée	bent oligospécifique	hique plus variée	constructeurs ou désert oolithique	benthique et Bryozoaires Echino	pélagique dermes
FLORE	Characées	Cynobactéries Stromatolites	Algues vertes Oncolites	Algues	s rouges	

(\*) Limite Inférieure d'Action des Vagues de Tempête

Figure II-05 : Zonation d'un milieu marin à sédimentation carbonatée (BEAUCHAMP.J, 1997).

# II. La stratigraphie séquentielle

La stratigraphie séquentielle est une méthode qui fournit un cadre d'étude aux éléments de tout environnement de dépôts, elle facilite la reconstitution paléogéographique des environnements et la prédiction des faciès lithologiques. Elle s'intéresse à l'organisation des strates en relation avec les fluctuations du niveau marin.

Les méthodes d'empilement des strates permettent de déterminer la chronologie des strates et expliquent les relations géométriques et structurales intrinsèques de ces strates.

La stratigraphie séquentielle s'appuie sur trois concepts primordiaux : la séquence, la paraséquence et les cortèges sédimentaires. (CATUNEANU, 2011)

## II.1. Notions de séquence

Une séquence a été définie à l'origine comme une unité stratigraphique délimitée par deux discordances ou par des discontinuités corrélatives. (CATUNEANU, 2011)

# \* Types de séquences

## > Séquence de dépôt

Une séquence de dépôt se forme au cours d'un cycle complet de changement d'accommodation, ce qui implique à la fois une augmentation (positive) et une diminution (négative) de l'espace disponible pour que les sédiments se déposent, ainsi que la formation de limites de séquences de dépôt nécessite des périodes d'accommodation négative. (CATUNEANU, 2011)

# Séquence stratigraphique génétique

La formation de la séquence stratigraphique génétique dépend du développement de surfaces d'inondation maximales (**MFS**), qui se forment pendant les périodes d'accommodation positive en réponse aux fluctuations des taux de création d'accommodation et /ou d'apport de sédiments. (CATUNEANU, 2011)

## Séquence Transgressive - Régressive (T-R)

La séquence T-R dépend du développement de surfaces régressives maximales (**MRS**), qui se forment pendant les périodes d'accommodation positive. (CATUNEANU, 2011)

## II.2. La paraséquence

Une paraséquence est une succession peu profonde ascendante de faciès délimités par des surfaces d'inondation marines. Les paraséquences sont géographiquement limitées aux zones côtières à peu profondes où les surfaces d'inondations marines peuvent se former. Un ensemble de paraséquences constitue un system tract. (CATUNEANU 2011)





# II.3. Notions de cortèges sédimentaires

Un cortège sédimentaire (system tract) est un lieu de dépôt contemporain, formant la subdivision d'une séquence, Le cortège sédimentaire est indépendant de la balance spatiotemporelle et l'architecture interne d'une partie d'un cortège peut varier grandement avec l'échelle d'observation, d'une succession de faciès à une paraséquence. Il se compose d'une succession de strates génétiquement liées délimitées par deux surfaces stratigraphiques. (CATUNEANU, 2011).

## II.3.1 Cortèges liés génétiquement au rivage

## a) Cortège de bas niveau (Lowstand Systems Tract) "LST"

Comprend les dépôts qui s'accumulent après le début de l'élévation relative du niveau de la mer, au cours de la régression, au-dessus du FSST et de la discordance subaérienne ascendante correspondante. (CATUNEANU 2011)

#### b) Cortège transgressif (Transgressive Systems Tract) "TST"

Comprend les dépôts accumulés depuis le début de la transgression jusqu'au moment de la transgression maximale de la côte. Il est à la base par la surface de régression maximale (MRS) et au toit par la surface d'inondation maximale (MFS). (CATUNEANU 2011)

## c) Cortège de haut niveau (Highstand Systems Tract) "HST"

Le cortège du haut niveau marin comprend les dépôts progradants qui se mettent en place lorsque les taux d'accumulation des sédiments dépassent les taux d'augmentation de l'espace d'accommodation à la fin des périodes de l'élévation relative du niveau marin. Il est limité à la base par la surface d'inondation maximale (MFS) et au toit par différentes surfaces composites incluant la discordance subaérienne (SU), la surface régressive d'érosion marine (RSME) et la surface basale de régression forcée (BSFR). (CATUNEANU 2011)

## d) Cortège de régression forcée (Falling-Stage Systems Tract) "FSST"

Comprend tous les dépôts régressifs qui s'accumulent après le début d'une baisse relative du niveau de la mer et avant le début de la prochaine hausse relative. C'est le produit d'une régression forcée. Il est limité à la base par la surface de régression forcée (BSFR) et au toit par la discordance subaérienne (SU) et sa discontinuité corrélative (CC). (CATUNEANU 2011)

## e) Cortège régressif (Regressive System Tract) "RST"

Inclut l'ensemble des dépôts accumulés durant la chute du niveau marin. Il est limité à la base par une surface d'inondation maximale (MFS) et au toit par une surface de régression maximale (MRS). (CATUNEANU 2011)

## II.3.2 Cortèges et séquences indépendants du rivage

Ce sont des unités stratigraphiques qui forment des subdivisions de séquences dans des zones où les processus de sédimentation ne sont pas liés au rivage. Ces secteurs de systèmes

sont définis par des modèles d'empilement de strates spécifiques qui peuvent être reconnus et corrélés au niveau régional, sans référence aux trajectoires du littoral.

## a) Cortège de faible accommodation fluviatile [LAST]

Correspond aux dépôts qui s'accumulent pendant la régression normale. Il est limité à la base par une surface subaérienne (SB) et au sommet par la surface limite indiquant le changement du style de dépôt, comprenant des faibles valeurs de la radioactivité naturelle. (CATUNEANU, 2011)

## b) Cortège de forte accommodation fluviatile [HAST]

Inclut les dépôts progressifs qui se forment lorsque les taux d'accumulation de sédiments dépassent le taux d'augmentation de l'accommodation. Il est limité à la base par la surface limite et au toit par différentes surfaces composites incluant la discordance subaérienne (SB), caractérisée par des valeurs d'intensité de GR relativement élevée. (CATUNEANU, 2011)

Ces deux cortèges [LAST] et [HAST] sont différenciés par leur style de dépôt caractérisé par la spécificité de la combinaison des éléments déposés qui affecte leurs signatures diagraphiques respectives, et en milieu fluviatile contrôlé en amont, par le degré d'amalgamation des dépôts de chenaux reflétant les conditions de syn-déposition de l'accommodation fluviatile disponible.



**Figure II-07 :** (A) cortège de type LAST (Cortège de faible accommodation) et (B) cortège de type HAST (cortège de forte accommodation (CATUNEANU et Al., 2011)

# Organisation séquentielle en LAST et HAST à travers leurs signatures diagraphiques du Gamma Ray

L'interprétation des dépôts en terme d'organisation séquentielle est basée sur les concepts de stratigraphie séquentielle haute résolution, où des cycles de différentes durées et échelles sont reconnus et corrélés. Ainsi, l'identification des unités génétiques et leur regroupement en cycles vont permettre l'identification des cycles contrôlés par la variation du niveau de base, ces derniers sont liés aux variations de l'accommodation et du flux sédimentaire.

La signature diagraphique des cortèges fluviatiles illustrée par la figure ci-dessous (Figure II-08, Catuneanu, 2011) de forme cylindrique dentelée, caractérisée par des valeurs d'intensité du Gamma Ray relativement élevée pour les cortèges de forte accommodation [HAST] (environ 120 API ou plus) que pour les [LAST] (100 à 105 API) et inversement par des valeurs de résistivité [LLD] relativement plus faibles pour les [HAST] (environ 50  $\Omega$ .m) que pour les [LAST] (environ 90  $\Omega$ .m).



Figure II -08: Modèles d'empilement de strates d'une succession entièrement fluviatile et leurs signatures diagraphiques [GR et LLD] (CATUNEANU et AL, 2011)

## II.4. Concept de niveau de base

Le niveau de base est défini comme une surface en dessous de laquelle il y a sédimentation et au-dessus de laquelle il y a érosion. Dans le domaine continental, une unité génétique est généralement représentée par une période d'érosion et de transit (chute du niveau de base) et une période d'aggradation (montée du niveau de base). Les périodes d'érosion et de transit correspondent à une faible préservation des faciès alors que la période d'aggradation correspond à une préservation importante. (HAMON et MERZERAUD, 2005)

- Si le niveau de base monte, les périodes d'aggradation vont se traduire par :
  - Des faciès de chenaux bien développés associés ou non à des faciès de coulée de débris.
  - Une diminution progressive de la granulométrie des faciès.
  - Une augmentation progressive des faciès de plaine d'inondation.
- Si le niveau de base chute, les périodes de faible préservation vont se traduire par :
  - La mise en place de paléosols majeurs.
  - L'amalgamation de faciès conglomératiques résiduels (lag), indiquant une période d'érosion et de transit avec la non préservation des faciès de chenaux proprement dits ; des surfaces d'érosion sans préservation d'un lag ou de paléosols.
  - L'inversion de tendance entre la période de forte et de faible préservation se marque généralement par la mise en place de faciès de plaine d'inondation bien développée. (HAMON et MERZERAUD, 2005)



Figure II-09 : Paramètres liés aux variations du niveau de base (CHAPUIS et BAUER, 2010)

#### II.5. Notions des surfaces limites de séquence

Les surfaces limites de la séquence peuvent correspondre à des « horizons conceptuels », c'est-à-dire sans contraste lithologique, en fonction de leurs expressions sur les affleurements (CATUNEANU 2006), il existe sept surfaces majeures décrites sont :

- a) Discordance subaérienne (Subaerial Unconformity) "SB": Est une surface d'érosion ou de non dépôt qui se forme dans des conditions subaériennes comme contournement fluvial, de la pédogenèse, d'une dégradation par le vent et de la karstification. (CATUNEANU 2011)
- b) Discontinuité corrélative (Correlative Conformities) "CC" : Est une surface stratigraphique marine qui marque le changement dans les modèles d'empilement stratigraphiques de la régression normale élevée à la régression forcée. C'est la paléotopographie du fond marin au début de la régression forcée. (CATUNEANU 2011)

## c) Surface d'inondation maximale (MFS : maximum flooding surface)

La surface d'inondation maximale est une surface stratigraphique qui marque un changement des modèles d'empilement stratigraphique de transgression, elle marque la fin de la transgression de la ligne de côte, séparant les cortèges rétrogradant, en dessous et des cortèges progradant, au-dessus. (CATUNEANU 2011)

d) Surface de régression maximale (Maximum Regressive Surface) "MRS" Définie comme une surface stratigraphique qui marque la transition entre les phases de régression et de transgression, séparant les prismes progradant, en dessous, des prismes rétrogradant, au-dessus. (CATUNEANU 2011)

# e) Surface de ravinement transgressive (Transgressive Ravinement Surface) "TRS"

Il s'agit des surfaces érosives qui se forment par balancement (récurage) des vagues (surfaces de ravinement de vagues) ou par balancement (récurage) des marées (surfaces de ravinement de marée) au cours de la transgression en environnements côtiers à peu profonds.

Les deux types de surfaces de ravinement transgressives sont diachroniques et juvéniles vers la marge du bassin. (CATUNEANU 2011)

# f) Surface régressive d'érosion marine (Regressive Surface of Marine Erosion) "RSME"

Définie comme une surface érosive (schéma sur figure II-06) qui se forme généralement par balancement des vagues lors de la régression forcée dans les milieux peu profonds ondulés en raison de l'abaissement de la base des vagues par rapport au fond de la mer. (CATUNEANU 2011)





## II.6. Notions d'éléctrofaciès et d'électro-séquences

## ✤ L'électro-faciès

Est un ensemble d'enregistrement diagraphiques qui comportent des signatures fiables qui s'expriment par des morphologies spécifiques qui caractérisent différentes formations dans la réponse diagraphique. (O. SERRA, 1979)

# ✤ L'électro-séquence

Est définie comme un "intervalle de profondeur présentant une variation progressive et continue entre deux valeurs extrêmes du paramètre diagraphique mesuré, dessinant une rampe. (O. SERRA, 1979)

La forme des courbes diagraphiques et l'allure des contacts inférieurs et supérieurs des électro-bancs ont permis d'établir une classification des électroséquences suivante :

- La forme en cylindre : caractérise les lits de chenaux en tresses ou le domaine de plage.
- La forme en entonnoir : caractérise les dépôts de front du delta et de crevasse splay ou un milieu de barres (dépôts progradant)
- La forme en cloche : relative aux dépôts de chenaux fluviatiles et deltaïques ou aux chenaux de marée (dépôts transgressifs).
- ✓ La forme en œuf : forme caractéristique des dépôts deltaïques régressifs à transgressif, dépôts de cône de déjection, etc.
- La forme en dents de scie : relative aux dépôts de la plaine alluviale, dépôts de talus (de pente), etc.





# III. Les diagraphies

# **III.1. Définition**

Les diagraphies sont des techniques géophysiques mises en œuvre à l'intérieur d'un forage. Elles servent à mesurer en place des paramètres physiques et pétro physiques des formations en fonction de la profondeur. (CARITG ET AL, 2016)

L'enregistrement des paramètres est effectué pendant la remontée de la sonde le long du puits tubé ou ouvert (Cased Hole ou Open Hole), d'où on distingue deux types de diagraphies :

- Diagraphie différées (Wireline Logging) : L'enregistrement est effectué après l'arrêt du forage. (CARITG ET AL, 2016)
- Diagraphie instantanées (Logging while drilling): Réalisées pendant le forage. L'évaluation lithologique des formations se réalise généralement sur la base de quatre diagraphies ci – après : Sonique – neutron – densité en plus du Gamma-Ray, sans oublier les méthodes accessoires (calliper, imageries, etc.). (CARITG ET AL, 2016)



Figure II-12 : Principes des deux types de diagraphies. (SONATRACH, 2015)

# **III.2. But des diagraphies**

Les principaux objectifs des mesures diagraphiques sont les suivants (Serra, 1984) :

- Estimer les saturations en eau et en hydrocarbures des réservoirs traversés.
- Détermination des caractéristiques du puits de forage.
- La corrélation entre différents puits.

## III.3. Les paramètres influençant les mesures

#### Diamètre du sondage

Le diamètre du sondage varie tout au long du forage, ceci est dû à la nature des formations traversées.

#### > Tubage et Ciment

Dans certains cas le trou de sondage est tubé et cimenté, ceci va interdire l'enregistrement de certaines diagraphies. Dans ce cas-là, seules les mesures nucléaires sont possibles.

#### > Température et Pression

Elles augmentent avec la profondeur en fonction du gradient géothermique et de la densité de la boue. C'est pour cette raison que chaque outil a ses propres limites d'utilisation.

#### La Vitesse d'Enregistrement

Elle dépend principalement du paramètre enregistré, elle va donc varier avec le type d'outil. Mais généralement, on peut enregistrer plusieurs paramètres avec des outils différents, dans ce cas la vitesse de remonter de l'enregistrement est adaptée à l'outil qui nécessite une vitesse minimale par rapports aux autres.

## > L'espacement

Est la distance entre deux sources émettrices et l'écartement entre source émettrice et réceptrice, joue un rôle important dans l'enregistrement désiré.

## > L'invasion

Le filtrat qui envahit les formations poreuses et perméables, perturbe la répartition initiale des fluides et donne naissance à une zone lavée dont l'eau de formation a été totalement expulsée, (repoussée latéralement dans le puits, sous l'effet de pression hydrostatique exercée par la boue de forage sur les parois).

(LEHARANI. Y, RAHIM. K, 2019).

# III.4. Classifications des diagraphies



Figure II-13 : Classifications des diagraphies.

# III.4.1. Les diagraphies acoustiques

# III.4.1.1. Diagraphie de sonique

Ce sont les diagraphies qui enregistrent un paramètre lié à un train d'onde dans les formations, ces paramètres sont :

- ◆ La vitesse de propagation du train d'onde « Sonic ».
- L'amplitude d'une oscillation C. B.L (diagraphie d'adhérence du ciment).
- Position d'oscillation V.D.L (détecter les fractures).

# > Principe

Une impulsion électrique à fréquence déterminée est émise de la sonde. Le signal reçu se compose d'une onde de compression (P) et d'une onde transversale (S), la mesure des temps de trajet s'effectue sur les ondes qui sont les plus rapides. Le paramètre calculer à partir des mesures de  $\Delta T$  est la vitesse de propagation des ondes (P). (CHAPELLIER ET MARI, 2004)



Figure II-14: Schéma et exemple de log d'une sonde sonique. (BEGHOUL, 2015)

# > Applications

- Détermination de la lithologie.
- Analyse des fractures.
- Calcule de la porosité :

 $\Delta t_{(lu)} = \emptyset \Delta t_{(fluide)} + [1 - \emptyset] \Delta t_{(matrice)}$ 

D'où :  $\emptyset = \frac{\Delta t(lu) - \Delta t(matrice)}{\Delta t(fluide) - \Delta t(matrice)}$ 

Ø : la porosité (%).

 $\Delta t$ : temps de transit en microseconde par pied (µs/pied).

## > L'outil BHC (Bore Hole Compensated)

Il est constitué de deux émetteurs et deux paires de récepteurs qui servent à corriger les décalages dans le temps de parcours. L'émetteur envoi un train d'ondes d'une fréquence moyenne (20 à 40 KHz).

Cet outil mesure le temps écoulés ( $\Delta t1$  et  $\Delta t2$ ) entre la détection des premières arrivées des ondes au niveau de deux paires de détecteurs, le temps ( $\Delta t$ ) enregistré est une moyenne des deux mesures.





#### (BEGHOUL, 2013)

## III.4.2. Les diagraphies électriques

## III.4.2.1. Les diagraphies de résistivités

## > Principe

Le principe de mesure consiste à envoyer un signal par une source émettrice d'énergie, et un récepteur enregistre les réactions du terrain. (CHAPELLIER ET MARI, 2004)





# (BEGHOUL, 2015)

Les diagraphies de résistivités les plus courantes sont :

## Les outils focalisés

a) Latérolog : Il existe deux principaux latérolog, LL3 et LL7 dont le chiffre représente le nombre d'électrodes composant la sonde.



Figure II-17 : Principe de focalisation du courant dans une sonde à 3 électrodes.

#### (BEGHOUL, 2015)

Dual latérolog (DDL) : c'est une sonde focalisée qui permet de faire deux mesures simultanément à des profondeurs d'investigation différentes. (CHAPELLIER ET MARI, 2004)



Figure II-18: Schéma de la sonde Dual Latérolog. (DELALEX, 2007)

- LLd (Deep latérolog) : détermine la résistivité du terrain Rt.
- LLs (shallow latérolog) : détermine la résistivité de la zone lavée RX<sub>0</sub>.
- b) Inductolog : ces outils ont été développés pour mesurer la résistivité de la formation dans les puits à boue non conductrice. (CHAPELLIER ET MARI, 2004)



Figure II-19 : Schéma de principe de l'outil Inductolog. (SCHÖN, 2015)

c) Microlatérolog : sont utilisés pour mesurer RX<sub>0</sub> et pour localiser les bancs poreux et perméables mis en évidence par la présence du mud-cake. (CHAPELLIER ET MARI, 2004)

## Les outils non focalisés

- a) Sondes normales : ont la particularité de déterminer les résistivités RX<sub>0</sub> (zone lavée) par la petite normale (PN=16''), et Rt (zone vierge) par la grande normale (GN=64''), elles donnent une définition verticale.
- b) Sondes latérales : sont des macro-dispositifs qui mesurent les résistivités des formations traversées et donnent des informations sur l'épaisseur des bancs et les diamètres, celle-ci donnent une bonne définition latérale.





Figure II- 21 : Sonde latérale

c) Micro log: ce sont des micro-dispositifs non focalisés, délimitent les zones perméables et poreuses dans tous les types de formations.

# > Application

- Déterminer les caractéristiques du fluide(Salinité).
- Mesure de la saturation.
- La détermination des différentes Rt et Rx<sub>0</sub>.

# III.4.3. Les diagraphies auxiliaires

# III.4.3.1. Le caliper (diamétreur)

Le caliper est équipé de plusieurs patins (trois à huit bras dépendants et indépendants), l'ouverture et la fermeture des bras du diamétreur activés par un moteur sont commandés à partir de la surface permettant à la sonde de descendre dans le trou avec ses bras repliés. Un signal provoque l'ouverture des bras, à la remontée ses bras sont en contact avec la paroi du puits enregistrent les variations de diamètre du trou de forage. (CHAPELLIER ET MARI, 2004)



Figure II-22 : Schéma et exemple de log d'un caliper. (BEGHOUL, 2015)

# > Applications

- Calcule l'épaisseur du mud-cake.
- Mesure du diamètre du trou de forage.
- Calculer le volume de ciment à injecter pour les cimentations.
- Donner une approche de la lithologie.

# III.4.4. Les diagraphies nucléaires

# III.4.4.1. Le Gamma Ray (Radioactivité Gamma)

C'est un enregistrement de radioactivité gamma naturelle des formations. Le log des rayons gamma peut être combiné avec tous les autres outils de Logging, il fonctionne à travers les parois en acier et en ciment des trous de forages tubés. Le rayonnement gamma provient du Potassium (<sup>40</sup>K) et des isotopes des séries Uranium et Thorium, chacune des trois sources émet spontanément des rayons gamma. Ils émettent des photons sans masse et sans charge mais avec une grande énergie. (MONDOL, 2015)

Pour les formations sédimentaires on enregistre une radioactivité importante dans :

- Les formations argileuses qui renferment du potassium (illite spécialement).
- Les sels de potassium.

- Les formations riches en matière organiques peuvent concentrer l'uranium.
- Les formations détritiques contenant des feldspaths (potassium) ou enrichis en minéraux lourds.



Figure II-23 : Schéma de l'outil Gamma Ray et exemple du log enregistré en face d'un réservoir. (BEGHOUL, 2013)

# $GR = A. \rho V / \rho b$

- GR : Radioactivité globale mesurée.
- ρb : Densité globale de la formation.
- $\rho$  : Densité de l'élément radioactif.
- V : Pourcentage de l'élément radioactif.
- A : Facteur de proportionnalité correspondant à l'activité radioactive.

# > Applications

- Le log Gamma-Ray apporte des informations qui aident à l'interprétation lithologiques

- Le Gamma-Ray permet de préciser les limites ainsi que les épaisseurs des couches.
- Le Gamma-Ray sert à identifier les réservoirs et calculer les épaisseurs (Total, Efficace).

- Le log Gamma-Ray permet d'estimer le pourcentage (%) d'argiles dans les couches réservoirs.

- Le Gamma-Ray sert à établir des corrélations entre les enregistrements des autres diagraphies.

- Le Gamma-Ray est utilisé dans la corrélation entre les puits.

 Le GR peut servir à l'analyse séquentielle, à la reconstitution de l'évolution des milieux de dépôts (reconstitution des paléo environnements) et à la modélisation des bassins. (AMEUR.Y, MEZINE.T).

## III.4.4.2. Types du Gamma Ray

- 1) Le Gamma-Ray total ou standard : dont l'outil est constitué d'un compteur de radioactivité naturelle des roches.
- Le Gamma-Ray spectral : Nécessite l'utilisation d'un spectromètre et permet de distinguer entre de la radioactivité à travers le niveau d'énergie des radiations Υ :
  - a) Gamma-Ray du « K »: Potassium.
  - b) Gamma-Ray du « Th »: Thorium.
  - c) Gamma-Ray de « Ur »: Uranium.

Le log spectral des rayons gamma mesure le rayonnement gamma naturel émanant d'une formation divisée en contributions de chacune des principales sources radio-isotopiques. L'analyse des sources de rayonnement gamma naturel nous apporte des informations supplémentaires concernant la composition et la lithologie probable de la formation. (MONDOL, 2015)

## > Outil de spectrométrie de rayons gamma naturels NGS

L'outil NGS\* « Natural Gamma Ray Spectrometry » utilise une spectroscopie à cinq fenêtres pour résoudre les spectres de rayons gamma totaux en courbes K, Th et U. Le rayon gamma standard et le rayon gamma moins le composant uranium sont également présentés. (SCHLUMBERGER, 2004)

Le rayon gamma calculé ou la courbe Th peut être utilisé pour évaluer la teneur en argile où les minéraux radioactifs sont présents. (SCHLUMBERGER, 2004)

## > Applications

✓ Études de capacité d'échange cationique.

- ✓ Délimitation du réservoir.
- ✓ Corrélation détaillée de puits à puits.
- ✓ Définition des faciès et milieu de dépôt.
- ✓ Reconnaissance des roches ignées.
- ✓ Reconnaissance d'autres matières radioactives.
- ✓ Potentiels uranifères et potassiques estimés.

## 3.1. Différentes utilisations des logs du rayon gamma spectral

Le rayon gamma est un log simple mais très utile. La haute résolution verticale le rend particulièrement bien adapté pour la correspondance de profondeur et la corrélation à échelle fine. (MONDOL, 2015).

> Les différentes utilisations des rayons gamma spectrales sont :

# a) Détermination de la lithologie

Le log des rayons gamma est appliquer principalement pour la détermination des différentes lithologies, les informations qu'il fournit sont inestimables lorsqu'elles sont combinées avec des informations provenant des autres logs par exemple sonique(DT), les argiles présentent des valeurs de rayons gamma les plus élevés contrairement au grès propre, calcaire et le sable qui ont des valeurs les plus faibles. La différence de radioactivité permet de faire la distinction de la lithologie. (MONDOL, 2015)

# b) L'estimation du volume d'argile

Dans la plupart des réservoirs, les lithologies s'agissent de cycles de grès et d'argiles ou de carbonates et des argiles. Dès que les lithologies sont identifiées, les valeurs des rayons gamma sont utiliser pour calculer le volume d'argile (Vsh), cependant ce volume est souvent utilisé pour faire la distinction entre les roches réservoirs et non réservoirs. (MONDOL, 2015)

Le volume d'argile est calculé de la manière suivante :

$$Vsh = \frac{\text{GR lu} - \text{GRmin}}{\text{GRmax} - \text{GRmin}}$$

- GR (lu) : c'est la lecture de rayons gamma à la profondeur d'intérêt.
- GR (min) : Correspond à la valeur minimale (par exemple sable ou calcaire).
- GR (max) : Correspond à la valeur élevée (par exemple les argiles).

## c) L'analyse du faciès et de l'environnement de dépôt

Les rayons gamma permettent d'identifier les couches minces et aussi sont utilisées pour les corrélations lithologiques ainsi que l'appariement des profondeurs entre les séquences de diagraphie. Les argiles ne changent pas soudainement mais progressivement avec la profondeur. Ses changements graduels sont des indicateurs des litho-faciès et des environnements de dépôts. (MONDOL, 2015)



Figure II-24: Présentation du log spectral des rayons gamma au niveau du puits « Well-1 » en utilisant le logiciel PETREL.

## **1.1.Principe de la spectrométrie**

La diagraphie gamma-ray enregistre la radioactivité  $\gamma$  naturelle et globale des formations traversées. Cette radioactivité est due à trois éléments radioactifs principaux (<sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, et <sup>238</sup>U), ou à leurs descendants qui émettent des rayons  $\gamma$  d'énergie différente. Ces paragraphes s'inspirent du travail de (MALLA. et OUYAHIA, 2016)

Le spectre d'énergie du rayonnement  $\gamma$  de ces éléments montre que ces rayons sont caractéristiques, par leur énergie aux éléments qui les engendrent.

Le potassium (<sup>40</sup>K) se caractérise par un photon d'énergie égale à 1.46 MeV, Le Thorium (<sup>232</sup>Th) par un photon  $\delta$  à 2.62 MeV et l'Uranium (<sup>238</sup>U) par un photon  $\delta$  à 1.76 MeV.

Eléments	Caractéristiques	
Thorium	<ul> <li>Insoluble dans l'eau.</li> <li>Généralement combiné avec des argiles, peut fournir certaines Informations sur la teneur en argile.</li> <li>Combiné avec des minéraux lourds dans les roches ignées.</li> </ul>	
Uranium	<ul> <li>Généralement non lié à la contamination argileuse des roches.</li> <li>Dépend de la teneur en matière organique.</li> </ul>	
Potassium	<ul> <li>L'un des composants de base des roches de schiste</li> <li>Indicateur de la présence de feldspaths et de micas.</li> <li>Se produit principalement sous forme oxydée.</li> <li>Stabilise les minéraux argileux comme KCl.</li> </ul>	

**Tableau II-03 :** Les caractéristiques des éléments radioactifs (Thorium, Uranium et<br/>Potassium).

## 2.3. Intérêt de la spectrométrie

Les mesures de la spectrométrie permettent de définir le pourcentage et le type des argiles présentes dans la roche ainsi qu'obtenir une meilleure connaissance de la minéralogie (MALLA et OUYAHIA, 2016), elles permettent également :

## Evaluer le potentiel d'hydrocarbures

Après étalonnage avec les mesures de la carotte, on peut évaluer la teneur de la roche- source en carbone organique d'après sa teneur en uranium et, à partir de là, son potentiel d'hydrocarbures. Une concentration élevée en uranium est caractéristique d'une concentration de matière organique ou de la présence de joints stylolitiques. (HASSAN et COLL, 1976), (MALLA et OUYAHIA, 2016)

## \* Détecter les discordances

Les changements brusques du rapport Th/K sont généralement des indicateurs d'importantes variations de la proportion des minéraux radioactifs, qui se produisent lors de la modification des conditions géologiques de dépôt. Ces changements correspondent à des discordances, souvent très difficiles à détecter sur d'autres enregistrements.

## Etablir des corrélations entre les sondages

Se fait par les pics observés sur les courbes du thorium qui correspondent souvent à des cendres volcaniques (ou à des couches renfermant de la bentonite). On peut ainsi considérer que celles-ci se sont déposées exactement en même temps sur une large zone.

La spectrométrie gamma peut nous donner la minéralogie des argiles. Cette donnée va nous renseigner sur entre autres les environnements de dépôts, et à partir de ces données, on effectue des rapports entre les abondances des principales sources radioactives (les éléments Th, K, U) dans le but de savoir le type et le pourcentage des minéraux argileux présentes dans les roches et d'avoir une meilleure approche des milieux de dépôts.

## 2.3.1. Intérêt minéralogique et sédimentologie

La spectrométrie gamma peut nous renseigner sur la minéralogie des argiles, entre autre les environnements de dépôt.

A partir de ces données, on effectue des rapports entre les abondances des principales sources radioactives (les éléments Th, K, U) dans le but de savoir le type et le pourcentage des minéraux argileux présents dans les roches et d'avoir une meilleure approche des milieux de dépôts. (HASSAN & COLL, 1976)

 Le rapport Th/K : Pour l'identification des minéraux radioactifs présents dans la roche, la nature minéralogique des argiles (kaolinite, illite, montmorillonite...), et la présence de minéraux radioactifs tels que mica, feldspath potassique, phosphate.



**Figure II-25 :** Cross-plot Thorium / Potassium pour l'identification des minéraux en Utilisant les données de rayons gamma spectral. (MALLA. et OUYAHIA, 2016)

Le rapport Th/U : Pour l'analyse des conditions de dépôt, permettent de distinguer les argiles marines des argiles continentales, d'identifier éventuellement les zones poreuses, les zones transformées en dolomite ainsi que les zones calcaires riches en résidus.

# 2.3.2. Intérêt pétrolier (matière organique)

A l'aide du rapport U/K on obtient des informations sur la matière organique et d'évaluer le potentiel d'hydrocarbures.

Le rapport U/K : L'Uranium présente une corrélation importante avec la matière organique. Ce rapport est appliqué pour estimer le potentiel en matière organique de la roche sédimentaire source. Il dépend des possibilités de fixation et de précipitation de l'uranium ainsi que de l'origine de la matière organique.

Rapport	Importance		
Th/U	<ul> <li>✓ Analyse des conditions sédimentaires :         <ul> <li>-Th / U&gt; 7 environnement continental, conditions oxydantes, sols altérés, etc;</li> <li>-Th / U &lt;7 sédiments marins, schistes gris et verts, greywackes, (greywackes grés avec les micas + feldspath);</li> <li>-Th / U &lt;2 schistes noirs marins, phosphorites, conditions réductrices. Offshore;</li> <li>✓ Estimation de la teneur en matière organique dans les argiles.</li> <li>✓ Détection des discontinuités de base.</li> <li>✓ Utilisé dans les corrélations stratigraphiques en déterminant les conditions transgressive-régressive et oxydante-réductrice.</li> </ul> </li> </ul>		
U/K	<ul> <li>✓ Évaluation de la teneur en matière organique dans les sédiments argileux.</li> <li>✓ Utilisé dans les corrélations stratigraphiques.</li> <li>✓ Détection des changements diagénétiques dans les sédiments argileux et carbonatés, etc.</li> <li>✓ Utilisé en corrélation des systèmes de fissures naturelles dans les formations plus profondes.</li> </ul>		
Th/K	<ul> <li>✓ Les changements brusques du rapport Th / K peuvent agir comme un indicateur de changement brusque de milieu de dépôt, (discordance).</li> <li>✓ Reconnaissance des types de sédiments représentant différents faciès.</li> <li>✓ Détermination des types de conditions sédimentaires, distance par rapport aux rivages paléo, etc.</li> <li>✓ Détermination des changements diagénétiques dans les sédiments argileux.</li> <li>✓ Détermination du type de minéraux argileux ; le rapport th / k augmente dans la direction suivante :</li> <li>glauconite → muscovite → illite → argile interstratifiée → kaolinite → chlorite →</li> </ul>		
	bauxite		

# Tableau II-04 : l'importance des trois rapports (Th/U, U/K, Th/K).
## Conclusion

L'objectif de la méthode sédimentologique dans l'étude du réservoir du Trias Argileux Gréseux Inférieur (TAGI) du champ Nord Ahara permettra de déterminer l'environnement de dépôt en combinaison avec les différentes méthodes diagraphiques tels que : le Gamma Ray Spectral (SGR), le Gamma Ray (GR) et le sonique (DT), qui servent à estimer le pourcentage des argiles dans les couches, comme ils servent aussi à effectuer le découpage séquentiel et à identifier les limites de séquences, électroséquences et éléctrofaciès (cortèges).

Le Gamma Ray Spectral représente un outil puissant pour l'identification des environnements de dépôts et l'analyses des faciès, ainsi que la distinction lithologique, et la caractérisation minéralogique des roches qui n'est pas toujours utilisé mais qui peut représenter une alternative intéressante pour les corrélations et la caractérisation du réservoir TAGI.

Cette approche nous permettra dans le présent travail de réaliser un découpage séquentiel à l'aide de l'enregistrement du GR en appuyant sur l'enregistrement du rapport Th/ K et calant l'information obtenue sur l'étude des carottes.

# CHAPITRE III : APPLICATIONS ET INTERPRÉTATION

Utilisation du Gamma Ray spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) dans la région du Nord Ahara du Bassin de Berkine

Master- Géologie des bassins sédimentaires

HAMLAOUI, L & OULD YOUCEF, F (2021)

#### I. Introduction

Dans ce chapitre nous essayons de mettre en œuvre les notions théoriques développées dans le chapitre précédent afin d'identifier les principales caractéristiques et particularités des dépôts des formations réservoirs du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] du Nord Ahara dans le bassin de Berkine sur la base des enregistrements diagraphiques et des carottes dans les cinq puits dénommés Well-1, Well-2, Well-3, Well-4, Well-5 [Figure III.1]. Pour ce faire, nous utiliserons logiciel PETREL et subdiviserons ce chapitre en trois parties qui traiteront de :

- La description de la lithologie des formations à l'aide de photos de carottes dans le but d'identifier les principaux lithofaciès et inférer sur les milieux de dépôts des formations du réservoir du Trias Argilo-Gréseux Inférieur (TAGI).
- Le découpage séquentiel des enregistrements diagraphiques, principalement le rayonnement gamma spectral dans les cinq puits mentionnés plus haut afin d'identifier les limites des cortèges et séquences en exploitant les morphologies particulières des réponses diagraphiques (électro-faciès et électro-séquences).
- L'élaboration de deux profils de corrélation de direction NE-SO entre les puits Well-1, Well-2, Well-4 et de direction Est-Ouest entre les puits Well-5, Well-2, Well-3 en exploitant les surfaces limites et les séquences identifiées dans la partie précédente.





### II. Description de la lithologie des formations

#### II.1. Puits « Well-1 »

#### \* Intervalle : 2871 à 2869 m

Grès conglomératiques à la base avec des stratifications obliques.

#### Intervalle : 2869 à 2865 m

Grès fins à des passages argileux, caractérisés par des stratifications planes à la base et des stratifications obliques au sommet.

#### Intervalle : 2865 à 2861 m

Grès fin à moyen, avec des stratifications obliques et des structures en auges, associées à des grès blancs fins avec des laminations planes et quelques passées argileuses, présence de traces de pyrite.

#### ✤ Intervalle : 2861 à 2857 m

Grès fins à la base devenant de plus en plus fins et friables pour passer au sommet à des grès argileux à laminations planes.

#### Intervalle : 2857 à 2853 m

Grès gris clair, fin à moyen induré avec des laminations planes à la base, associé à des grès argileux à stratifications obliques. Présence de traces de pyrite.



# **Chapitre III**







Figure III-02 : Photos de carottes extraites du puits Well-1.

#### II.2. Puits « Well-3 »

#### Intervalle : 2772 à 2768 m

Grès gris blanc, fin à moyen, silico-argileux, bien consolidés avec des laminations planes à la base et des stratifications obliques au sommet.

#### \* Intervalle : 2768 à 2766 m

Grès gris blanc, fin à moyen, argileux, légèrement micacés, bien consolidés, présence de nodules argileux et de stratifications obliques.

#### \* Intervalle : 2766 à 2765 m

Grès clair parfois foncé, fin à moyen, argileux dont la base présente des structures entrecroisées et des structures planes au sommet.

#### \* Intervalle : 2765 à 2763 m

Grès blanc à gris verdâtre, fin à moyen, silico-argileux, moyennement consolidé présentant des laminations planes et des structures obliques à la base et des nodules argileux au sommet.

#### Intervalle : 2763 à 2762 m

Argile gris foncé, silteuse, feuilletée, indurée.

#### Intervalle : 2762 à 2760 m

Grès gris blanc, fin à moyen, silico-argileux, moyennement à bien consolidé, avec des stratifications obliques à la base et des laminations planes au sommet.

#### Intervalle : 2760 à 2757 m

Grès blanc grisâtre, moyen à grossier, siliceux, moyennement à mal consolidé, légèrement bitumeux et micacé, présence des laminations planes.

#### Intervalle : 2757 à 2754 m

Grès gris blanc à gris verdâtre, fin à moyen, silico-argileux, moyennement à bien consolidé à stratifications obliques.







Figure II-03 : Photos de carottes extraites du puits Well-3.

#### II.3. Puits Well-6

#### \* Intervalle : 2933 à 2921 m

Argile brun rouge, parfois grise, silteuse, indurée. Rares passées de Grès, gris blanc à blanc, localement blanc beige, fin à très fin moyen en quelques endroits, silico-argileux, friable.

#### Intervalle : 2921 à 2918 m

Grès gris blanc à blanc beige, fin à très fin, localement moyen, silico-argileux à siliceux, friable présentant des films d'argile, grise, localement, brun rouge, silteuse avec présence de laminations horizontales.

#### Intervalle : 2918 à 2915 m

Grès gris blanc à blanc, fin à moyen, silico-argileux, friable, mal classé, alterné d'Argile, grise rarement rouge, silteuse, indurée à stratifications obliques.



2925

2926

2924

2923

8





Figure III-04 : Photos de carottes extraites du puits Well-6.

# III. Interprétation des données de carottes au niveau des puits « Well-1, Well-2 et Well-3 »

#### Puits « Well-1 »

Les caractéristiques relevées sur les carottes décrites précédemment dans le puits « Well-1 », permettent de conclure à un environnement de dépôt fluviatile en tresse avec un passage d'un milieu de plaine alluviale.

Le milieu fluviatile en tresses est à grès conglomératique et quelques passées d'argile avec présence des laminations horizontales et des stratifications obliques ainsi que des figures en auge.

Le milieu de plaine alluviale est caractérisé par des dépôts fins (argiles, silts, sables).

#### Puits « Well-3 »

Dans ce puits, les formations réservoirs débutent par une surface d'érosion à la base suivie des dépôts grossiers à stratifications obliques et des laminations planes avec de rares passées d'argile et un classement moyen indiquant un **environnement fluviatile en tresses.** 

Vers la fin, on retrouve des dépôts de **crevasse splay** débutant par un faciès argileux à la base surmonté d'un banc gréseux signe d'une granulométrie granocroissante.

#### > Puits « Well-6 »

Ce puits présente un faciès argileux de couleur rouge absence de dépôt riche en matière organique en raison de conditions oxydantes, ce qui indique un **environnement de plaine alluviale** associés à un faciès gréseux moyen avec des laminations planes.

CORE DESCRIPTION	FACIES DESCRIPTION
2753	Grès fin à moyen induré avec des laminations planes à la base, associé à des grès argileux à des stratifications obliques.
2757	
2759	Grès fin à la base, devient de plus en plus fin et friable avec des grès argileux au sommet et des laminations planes
2761	
2762	Grès fin à moyen, avec des stratifications obliques et des structures en auges, associées à des grès blancs fins à des laminations
2764	planes, et quelques passées argileuses.
2765	Grès fin à des passages argileux, des
2767	stratifications planes à la base, et au sommet des stratifications obliques
2769	
2870	Grès conglomératique à la base avec des stratifications obliques.
2871	

**Figure III-05 :** Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du TAGI pour le puits « Well-1 »

CORE DESCRIPTION	FACIES DESCRIPTION
2755	
	Grès fin à moven silico-argileux
2755	Ores mi a moyen, smeo-argneux,
	moyennement à bien consolidée à des
	stratifications obliques
2756	stratifications obliques.
2/30	
2757	
·	
2758	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Gres moyen a grossier, sinceux,
···· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	movennement à mal consolidé, présence des
	lominations planes
2759	laminations planes.
2/60	Grès fin à moven silico-argileux
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	moyennement à bien consolidée avec des
2761	stratifications oblique à la base et des
	stratifications oblique à la base et des
	laminations planes au sommet.
2762	
	Argila ciltanca famillatáa induráa
	Aigne shieuse, leunietee, induiee.
2763	
	Grès fin à moyen silico argileux
	Ores mi a moyen, smeo-argneux,
	moyennement consolidée admettant à des
2/64	laminations planes des structures obliques et
	ianimations planes, des structures obliques et
	des nodules argileux au sommet.
2765	
······································	Grès fin à moyen, argileux avec des
······································	structures planes et entrecroisées
2766	structures planes et entrectorsees.
BABAAA	Grès fin à moven bien consolidé présence
	Gres in a moyen, oren consolide, presence
2767	des nodules argileux et des stratifications
	obliques
	obliques.
2769	
1	
	Grès fin à moyen, silico-argileux avec des
	laminations planes à la base et des
2770	rammations planes a la base et des
	stratifications obliques au sommet.
	1
2771	

**Figure III-06:** Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du TAGI pour le puits « Well-3 »



Figure III-07 : Log réalisés à partir de la description de carottes au niveau du TAGI pour le puits « Well-3 »

IV. Découpage séquentiel des puits « well-1, well-2, well-3, well-4, et well-5 »



IV.1. Découpage séquentiel du puits « Well-1 »

Figure III-08: Découpage séquentiel du puits « Well-1 »

L'examen de la réponse diagraphique du GR enregistrée dans le puits Well-1 face aux formations du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région étudiée a permis de mettre en évidence cinq discontinuités individualisées par des valeurs particulières de l'intensité du GR. Ce sont de bas en haut :

- SB-1 à une profondeur de **2920 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **181 API**, correspondant à la troncature érosionnelle de la discordance hercynienne (DH).

- SB-2 à une profondeur de 2 896 m avec une valeur de l'intensité du GR de 97 API.

- SB-3 à une profondeur de 2 881 m avec une valeur de l'intensité du GR de 89 API.

- SB-4 à une profondeur de 2 862 m avec une valeur de l'intensité du GR de 98 API.

- SB-5 à une profondeur de **2 837 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **102 API**, correspondant au toit du TAGI.

Ces cinq discontinuités permettent de mettre en évidence quatre séquences :

#### • Séquence 1

Cette séquence s'étend sur une épaisseur de **34 m**. Elle comprend deux cortèges séparés par une surface limite bien marquée à la profondeur de **2 907 m** caractérisée par un saut de l'intensité du GR qui passe de **30 API** à **97 API**. Cette surface reflète un changement dans le style de dépôt et le degré d'amalgamation des éléments déposés, ou encore des conditions de syn-déposition de l'accommodation fluviatile disponible, s'agissant ici de milieux fluviatiles et donc de montée ou de chute du niveau de base.

- Le premier cortège, défini entre les profondeurs 2 920 m et 2 907 m, est un cortège de faible accommodation, ou LAST [Low Accommodation Systems Tracts dans la terminologie de Catuneanu]. Ce cortège montre une morphologie d'électro-faciès en de « dents de scie » [serrated] avec une lithologie qui semble plus cohérente vers le sommet du cortège qui possède une signature quasi-cylindrique. Tandis qu'à la base, l'allure de la réponse diagraphique est plus chahutée, signe d'intercalations de lithologie variable (argiles, grès, silts ou boues). Cette diversité lithologique et sa morphologie est la signature d'un environnement de dépôt de plaine alluviale.
- Le second cortège entre 2 907 m et 2 896 m de profondeur est un cortège de forte accommodation ou HAST [High Accommodation Systems Tracts]. Le passage entre les deux cortèges est marqué d'ailleurs par une déflexion positive sur la courbe du rapport

Th/K. Ce cortège a également une morphologie en « **dents de scie** » (serrated) avec des valeurs du GR relativement élevées, signe de variabilité de sa lithologie. C'est la signature **d'un environnement de dépôt de plaine alluviale**.

#### • Séquence 2

Limitée à la base par la limite de séquence (**SB2**) a une profondeur de **2 896 m** et au sommet par (**SB3**) à une profondeur de **2 881 m**, elle est caractérisée par une épaisseur de **15 m**, cette séquence comprend également deux cortèges de types LAST et HAST séparée par une surface limite marquant un changement dans le style de dépôt à la profondeur de **2 888 m**.

- La courbe diagraphique du Gamma Ray enregistre une inflexion due à la diminution des valeurs de la radioactivité naturelle à une profondeur de 2 896 m illustré par la mise en place d'un banc gréseux de forme « quasi-cylindrique » de basse accommodation [LAST], affichant de la cohérence granulométrique et lithologique. C'est la signature caractéristique d'un environnement de lits de chenaux en tresse.
- Le deuxième cortège est défini entre les profondeurs 2 888 m et 2 881 m, caractérisé par alternances de bancs de grès et d'argile de forte accommodation [HAST]. Ce cortège coïncide avec une morphologie d'électro-faciès en « dents de scie » [serrated] caractérisé par une variation de la granulométrie, avec des valeurs de GR variables (fortes à la base à moyennes au sommet), signature d'intercalations de lits d'argile, silts, grès et même boues. C'est la signature d'un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 3

Délimitée par les surfaces d'érosion subaériennes (SB3) et (SB4) aux profondeurs 2 881 m et 2 862 m, elle peut être assimilée à un seul cortège de faible accommodation [LAST] avec des valeurs d'intensité du GR relativement modestes (40 à 45 API), qui présente une allure d'électro-faciès « quasi-cylindrique » sur l'épaisseur du cortège comprenant des passées argileuses au milieu avec une intensité du GR de l'ordre de 60 API voire plus. Cette signature évoque un environnement de dépôt de chenaux en tresse, avec une tendance évolutive vers des dépôts de plaine alluviale vers le sommet de la séquence. Ce qui semble indiquer l'existence d'une relique d'un cortège HAST érodé.

#### • Séquence 4

Comprise entre les discontinuités (**SB4**) et (**SB5**) [Toit du TAGI], elle est structurée en deux cortèges séparés par une surface de variation de style de dépôt que l'on peut situer vers **2846 m** de profondeur.

- Le premier cortège est de type [LAST], présentant une morphologie « quasicylindrique » avec la présence d'une intercalation au milieu (les valeurs moyennes du GR passent de 30 API à 40 API à la base et au sommet à 75 API à 105 API au centre du cortège). Le cortège affiche une cohérence lithologique et granulométrique à sa base et au sommet. Ces variations de morphologie indiquent que l'environnement de dépôt oscille entre faciès de chenaux en tresse et de plaine alluviale.
- Le deuxième cortège est défini de type [HAST] avec une morphologie en « cloche indentée » passant de 60 API à 110 API, signe d'une granulométrie décroissante. Ce cortège a le caractère d'un environnement de dépôt de chenaux fluviatiles.



# IV.2. Découpage séquentiel du puits « Well-2 »

Figure III-09 : Découpage séquentiel du puits « Well-2 »

L'examen de la réponse diagraphique du GR enregistrée dans le puits Well-2 face aux formations du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région étudiée a permis de mettre en évidence cinq discontinuités individualisées par des valeurs particulières de l'intensité du GR. Ce sont de bas en haut :

- SB-1 à une profondeur de **2 884 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **65 API**, correspondant à la troncature érosionnelle de la discordance hercynienne (DH).

- SB-2 à une profondeur de 2 662 m avec une valeur de l'intensité du GR de 78 API.

- SB-3 à une profondeur de 2 843 m avec une valeur de l'intensité du GR de 120 API.

- SB-4 à une profondeur de 2 830m avec une valeur de l'intensité du GR de 75 API.

- SB-5 à une profondeur de **2 807 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **111 API**, correspondant au toit du TAGI.

Ces cinq discontinuités permettent d'individualiser quatre principales séquences :

• Séquence 1

La première séquence de ce puits est limitée à la base par la limite de séquence (SB1) qui correspond à la Discordance Hercynienne à la profondeur 2 884 m et au sommet par une deuxième la limite de séquence (SB2) à la profondeur 2 862 m. Elle a une épaisseur de 22 m, constituée de deux cortèges sédimentaires séparés par une surface limite bien visible à la profondeur de 2 876 m marquée par une augmentation de l'intensité du GR qui passe de 51 API à 78 API, marquée par un changement dans le style de dépôt et leur degré d'amalgamation qui sont liés à la montée ou la chute du niveau de base.

- Défini entre les profondeurs 2 884 m et 2 876 m le premier cortège de cette séquence est un cortège de faible accommodation, ou LAST [Low Accommodation Systems Tracts], illustré par de faibles valeurs du Gamma Ray. La signature diagraphique de ce cortège suggère un électro-faciès de forme « quasi-cylindrique » avec une cohérence de la lithologie et de la granulométrie. Cette forme est caractéristique des chenaux fluviatiles en tresse.
- La séquence comprend aussi un cortège de forte accommodation [HAST], marqué à la base par la déflexion du rapport Th/K (positive). Ce cortège présente une forme en « dents de scie » indiquée par l'élévation des valeurs de la radioactivité naturelle atteignant 78 API au sommet à une profondeur de 2 862 m (limite supérieure), signe de variabilité de sa lithologie indiquant un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 2

Située entre les profondeurs de **2 862 m [SB2]** et 2848 m [**SB3**], cette séquence s'étend sur **14 m** d'épaisseur. Cette séquence comprend deux cortèges de types (LAST et HAST) séparés par une surface limite marque le changement de type de sédiment à une profondeur de **2 857 m** illustré par des valeurs du Gamma Ray qui passent de **36 API** à **120 API**.

- Le premier cortège défini à la base de cette séquence à une profondeur de 2 862 m est un cortège de faible accommodation [LAST] qui présente de faibles valeurs du GR (30 à 36 API). Ce cortège est caractérisé par une morphologie d'électro-faciès de forme « cylindrique », cette morphologie détermine une cohérence lithologique et granulométrique des dépôts de chenaux fluviatiles en tresse.
- Le second cortège entre les profondeurs 2 857 m et 2 848 m est un cortège de forte accommodation [HAST], avec une forme d'électro-faciès en « dents de scie » indiqué par des valeurs du GR élevées (120 API) avec alternances des dépôts argilo-gréseux. La morphologie de ce cortège est la signature d'un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 3

La troisième séquence de ce puits est limitée à la base et au sommet par deux (2) limites de séquence, surfaces d'érosion subaériennes (SB3) et (SB4), mises en évidence sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray encadrée par les profondeurs de 2 848 m et 2 830 m sur une épaisseur globale de 18 m. Cette séquence semble avoir un seul cortège sédimentaire

A la base, ce cortège est de faible accommodation [LAST], avec des valeurs moyennes du GR de l'ordre 35 API à 40 API comprenant des dépôts gréseux sur toute l'épaisseur de ce cortège (formation propre), il présente une allure d'électro-faciès de forme « cylindrique » avec une granulométrie constante, Cette signature évoque un environnement de dépôt de chenaux en tresse. Le deuxième cortège est séparé du premier par une surface limite marquée par l'élévation de la valeur du Gamma Ray (75 API) impliquant le changement de type d'environnement vers des dépôts de plaine alluviale. Ce cortège est défini comme un cortège de forte accommodation [HAST] probablement érodé.

#### • Séquence 4

Cette séquence est comprise entre deux surfaces d'érosion subaériennes (SB4) à une profondeur de 2 830 m et (SB5) a 2 807 m, elle est structurée en deux cortèges séparées par une surface de variation de style de dépôt que l'on peut situer vers 2 826 m de profondeur.

- Le premier cortège est un cortège de faible accommodation [LAST] situé à la base, il est caractérisé par une morphologie d'électro-faciès de forme « cylindrique » marqué par des valeurs moyennes du GR de 41 API. Ce cortège montre une cohérence granulométrique et lithologique indiquant la mise en place des dépôts d'un environnement fluviatile en tresse.
- Le deuxième cortège est séparé du premier cortège à une profondeur 2 826 m en raison du changement dans la dynamique du dépôt, définit comme un cortège de forte accommodation [HAST] avec une intensité du GR de l'ordre 116 API ou plus comprennent quelques passées gréseuses au milieu avec une valeur de 30 API. Ce cortège conçoit une allure d'électro-faciès en forme de « dents de scie », caractérisant un environnement de dépôt de la plaine alluviale.



# IV.3. Découpage séquentiel du puits « Well-3 »

Figure III-10: Découpage séquentiel du puits « Well-3 »

L'examen de la réponse diagraphique du GR enregistrée dans le puits Well-3 face aux formations du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région étudiée a permis de mettre en évidence cinq discontinuités individualisées par des valeurs particulières de l'intensité du GR. Ce sont de bas en haut :

- SB-1 à une profondeur de **2835 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **67 API**, correspondant à la troncature érosionnelle de la discordance hercynienne (DH).

- SB-2 à une profondeur de 2806 m avec une valeur de l'intensité du GR de 108 API.

- SB-3 à une profondeur de 2798 m avec une valeur de l'intensité du GR de 64 API.

- SB-4 à une profondeur de 2777 m avec une valeur de l'intensité du GR de 89 API.

- SB-5 à une profondeur de 2 753 m avec une valeur de l'intensité du GR de 66 API, correspondant au toit du TAGI.

Ces discontinuités correspondent à des surfaces d'érosion subaériennes et délimitent quatre séquences individualisées par des morphologies d'électro-faciès spécifiques permettant de les subdiviser en cortèges. Ce sont de bas en haut :

• Séquence 1

Limitée à la base par une surface d'érosion (SB1) qui correspond à la discordance hercynienne à la profondeur de 2 835 m caractérisée par une valeur du GR de 67 API et au sommet par une deuxième limite érosive (SB2) a une profondeur de 2 806 m avec une valeur élevée du Gamma Ray de 108 API, elle a une épaisseur de 29 m. Cette séquence est subdivisée en deux cortèges sédimentaires de type (LAST) et (HAST) séparée par une surface limite bien visible indiquant un changement de lithologie.

- Entre les profondeurs 2 836 m et 2 826 m, on observe le premier cortège de la séquence que l'on peut qualifier de cortège de faible accommodation [LAST] à la base, avec une allure d'électro-faciès « cylindrique » et de faibles valeurs du Gamma Ray de l'ordre de 29 API, signature d'une sédimentation gréseuse propre indiquant un environnement fluviatile en tresse.
- Le second cortège de cette séquence est limité à la base par une surface limite à une profondeur de 2 826 m marquée par un changement dans le style de dépôt illustré par un saut de valeur de la radioactivité naturelle de 83 API à 108 API, c'est un cortège de forte accommodation [HAST]. La morphologie de l'électro-faciès en « dents de scie » est synonyme d'une alternance de dépôts argilo-gréseux indiquant un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 2

Elle est comprise entre les profondeurs **2 806 m** qui constitue la limite basale (**SB2**) avec une valeur du GR de **108 API**, et **2 798 m** qui correspond à sa limite sommitale (**SB3**) repérée sur la courbe diagraphique de l'enregistrement GR par une valeur de **64 API**, elle est d'une épaisseur de **8 m**. Elle est constituée de deux cortèges sédimentaire (LAST) et (HAST).

- Le premier cortège se situe entre 2 806 m pour sa limite inférieure (SB2) et 2 802 m sa limite supérieure. C'est un cortège de faible accommodation [LAST] avec une morphologie de forme « cylindrique » et une valeur moyenne du GR de 32 API, affichant de la cohérence granulométrique et lithologique, c'est la forme caractéristique d'un environnement fluviatile en tresse.
- Le deuxième cortège est limitée à la base par la surface limite 2 802 m avec un passage de valeur du Gamma Ray de 32 API à 64 API, correspond à un cortège de forte accommodation [HAST] caractérisé par une allure d'électro-faciès en forme de « dents de scie » signifiant une intercalation d'argiles, silt. C'est la signature d'un environnement de dépôt de la plaine alluviale.

#### • Séquence 3

La troisième séquence du puits « Well-3 » est limitée à la base par une surface subaérienne (SB3) à la profondeur de 2 798 m avec une valeur du GR de 64 API et au sommet par une autre surface subaérienne (SB4) à une profondeur de 2 777 m caractérisé par une valeur de 89 API, cette séquence est subdivisée en deux cortèges sédimentaires [LAST] et [HAST] contrôlés par le niveau de base. Elle comprend deux cortèges :

- A la base un cortège de faible accommodation [LAST] situé entre (SB3) et la surface limite (changement de style de dépôt), présente une valeur du GR de 35 API. Ce premier cortège montre une morphologie d'électro-faciès de forme « cylindrique », illustré par de faible valeurs de la radioactivité naturelle, indiquant la mise en place des dépôts de chenaux fluviatiles en tresse.
- Celui-ci est suivi par un second cortège à la profondeur 2 778 m marquée par un changement de lithologie indiqué par le passage des valeurs du GR de 35 API à 89 API, qui correspond à une relique d'un cortège [HAST] érodé partiellement.

#### • Séquence 4

D'une épaisseur de 23 m, elle est limitée à la base et au sommet par deux surfaces érosives (SB4) et (SB5) aux profondeurs 2 777 m et 2 753 m, caractérisé par une valeur du Gamma Ray de 89 API à la base et au sommet de 66 API, elle comprend deux cortèges [LAST] et [HAST] séparés par une surface limite remarquable à 2 764 m.

- Le premier cortège est situé entre (SB4) à la base à une profondeur de 2 776 m, il est défini comme un cortège de faible accommodation [LAST] avec des valeurs moyennes du GR de 45 API, montrant une morphologie de forme « quasi-cylindrique » avec la présence de quelques intercalations d'argiles depuis la base jusqu'au sommet signe d'un environnement de chenaux fluviatiles en tresse.
- Le deuxième cortège est séparé du premier par une surface limite bien visible à 2764 m reflétant le changement de sédimentation. Ce cortège est défini comme un cortège de forte accommodation [HAST] avec une allure d'électro-faciès en « entonnoir ». Il débute à la base par des dépôts fins (argile) et devenant plus grossiers au sommet, avec une granulométrie croissante ainsi que les valeurs du GR augmentant de la base jusqu'au sommet (110 API à 66 API), ce qui indique la mise en place des dépôts de crevasse splay.



# IV.4. Découpage séquentiel du puits « Well-4 »

Figure III-11: Découpage séquentiel du puits « Well-4 »

L'examen de la réponse diagraphique du GR enregistrée dans le puits Well-4 face aux formations du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région étudiée a permis de mettre en évidence cinq discontinuités individualisées par des valeurs particulières de l'intensité du GR. Ce sont de bas en haut :

- SB-1 à une profondeur de **2 918 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **93 API**, correspondant à la troncature érosionnelle de la discordance hercynienne (DH).

- SB-2 à une profondeur de 2 907 m avec une valeur de l'intensité du GR de 55 API.

- SB-3 à une profondeur de 2 890 m avec une valeur de l'intensité du GR de 59 API.

- SB-4 à une profondeur de 2 874 m avec une valeur de l'intensité du GR de 72 API.

- SB-5 à une profondeur de **2 849 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **69 API**, correspondant au toit du TAGI.

Ces discontinuités permettent d'individualiser quatre séquences principales qui sont de bas en haut :

#### • Séquence 1

D'une épaisseur de **11 m**, elle embrasse l'intervalle compris entre **2918 m** et **2907 m**, limitée à la base par (SB1) qui correspond à la surface érosionnelle de la Discordance Hercynienne et au sommet par (SB2). Elle est structurée de bas en haut en deux cortèges sédimentaires de type LAST et HAST séparés par une surface limite à la profondeur de **2 914 m** marquée par la déflexion positive du rapport Thorium / Potassium (Th/ k).

- Le premier cortège à la base est de type [LAST : Low Accommodation Systems Tracts], ce cortège est caractérisé par une morphologie d'électro-faciès « cylindrique » avec des valeurs moyennes du Gamma Ray de l'ordre de 24 à 20 API, c'est la signature d'un environnement de lits de chenaux en tresse.
- Le second cortège s'entend sur l'intervalle 2 914 m et 2 907 m avec des valeurs relativement élevées, il est de type [HAST : High Accommodation Systems Tracts].
   S'individualise sous une morphologie en « dents de scie » (serrated), il incarne la signature d'un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 2

La deuxième séquence de ce puits est limitée à la base et au sommet par des surfaces d'érosion subaériennes (**SB3** et **SB4**). Elle a une épaisseur de **17 m**, et semble comprendre un seul cortège de faible accommodation fluviatile [LAST], avec des valeurs du GR variables à la base **26 API** et relativement fortes au sommet (**75 API**) témoignant de la présence d'argile au sommet.

Le premier cortège à la base est de type LAST, avec une morphologie diagraphique « quasi cylindrique », repérable sur l'enregistrement du Gamma Ray par une faible valeur de 26 API à la base et qui monte à 57 API au sommet, signe de quelques passées d'argiles. Cette signature évoque un environnement de dépôts de chenaux en tresse, avec tendance évolutive vers des dépôts de plaine alluviale vers le sommet de la séquence, ce qui indique l'existence d'un cortège [HAST] érodé.

#### • Séquence 3

La séquence 3 (Sq3) du puits « well-4 » est délimitée par les deux surfaces subaériennes (**SB2 et SB3**), avec les valeurs moyennes du GR de **23 API** et **71 API**, elle est d'une épaisseur de **26 m**, cette séquence peut être assimilés à un seul cortège sédimentaire de faible accommodation [LAST], le second membre étant probablement érodé.

Le premier cortège montre des valeurs du Gamma Ray moyennes, avec une signature diagraphique de forme « quasi cylindrique », il correspond à un cortège de faible accommodation fluviatile [LAST] caractérisant un granulométrie quasi- constante, ce qui implique la mise en place d'un environnement de dépôt de chenaux en tresse. Le deuxième cortège du type HAST est érodé.

#### • Séquence 4

Elle se trouve dans l'intervalle entre les profondeurs 2 874 m et 2 849 m avec une épaisseur de 25 m, cette dernière séquence est limitée à la base par une surface subaérienne (SB4) et au sommet par une autre surface érosive (SB5). Elle est constituée de deux cortèges de type (LAST et HAST) séparé par une surface de variation du style de dépôt que l'on peut situer à 2 858 m de profondeur.

Le premier cortège est de type [LAST] ou cortège de faible accommodation, caractérisé par une morphologie d'électro-faciès « quasi-cylindrique » et quelques intercalations d'argiles au milieu, présentant une variation dans les valeurs du Gamma Ray de 72 API à la base a 117 API au centre pour revenir à 63 API.

Cette morphologie indique la mise en place d'un environnement de dépôt oscillant entre un faciès de chenaux en tresse et un faciès de plaine alluviale.

Le second cortège est défini à une profondeur de 2 858 m qui constitue sa limite inférieure et à 2 849 m sa limite supérieur (SB5) illustré par des valeurs de la radioactivité naturelle de 114 API à 69 API. C'est un cortège de forte accommodation [HAST] qui est caractérisé par une allure d'électro-faciès en forme d'« entonnoir » montrant une granulométrie croissante signe d'un environnement de dépôt de crevasse splay.



# IV.5. Découpage séquentiel du puits « Well-5 »

Figure III-12: Découpage séquentiel du puits « Well-5 »

L'examen de la réponse diagraphique du GR enregistrée dans le puits Well-5 face aux formations du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur [TAGI] de la région étudiée a permis de mettre en évidence cinq discontinuités individualisées par des valeurs particulières de l'intensité du GR. Ce sont de bas en haut :

- SB-1 à une profondeur de **2 905 m** avec une valeur de l'intensité du GR de **106 API**, correspondant à la troncature érosionnelle de la discordance hercynienne (DH).

SB-2 à une profondeur de 2 885 m avec une valeur moyenne de l'intensité du GR de
65 API.

- SB-3 à une profondeur de 2 870 m avec une forte valeur de l'intensité du GR de 133 API.

- SB-4 à une profondeur de 2 844 m avec une valeur de l'intensité du GR de 100 API.

SB-5 à une profondeur de 2 832 m avec une valeur moyenne de l'intensité du GR de 66 API, correspondant au toit du TAGI.

Ces cinq discontinuités correspondent à des surfaces d'érosion subaériennes et délimitent quatre principales séquences pouvant être subdivisées en cortèges de bas niveau d'accommodation [LAST] ou de haut niveau d'accommodation [HAST]. Ce sont de bas en haut les séquences et cortèges suivants :

• Séquence 1

Elle couvre l'intervalle entre les profondeurs **2 905 m** et **2 885 m**, soit une épaisseur de **20 m.** Cette séquence est limitée à la base par la Discordance Hercynienne (**SB1**) et au sommet par la surface érosive subaérienne (**SB2**). Elle englobe de bas en haut deux cortèges sédimentaires de type [LAST] et [HAST].

- Le premier cortège peu épais présente une morphologie « quasi-cylindrique » avec des valeurs moyennes du Gamma Ray inférieures à 30 API caractérisant une granulométrie plus au moins constante. Ce cortège est de faible accommodation fluviatile impliquant une mise en place en environnement de lits de chenaux en tresse.
- Le deuxième cortège de cette séquence de forme en « dents de scie » alternant des valeurs oscillant entre est limité entre la profondeur de 2 903 m et la surface érosive subaérienne (SB2), la forme de l'électro-faciès traduit un cortège de haute accommodation fluviatile [HAST], avec des valeurs de GR variable signature d'intercalations de grès et d'argile, ce qui caractérise l'environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 2

La séquence 2 (**sq2**) de ce puits, est limité à la base par une surface subaérienne (SB3), cette discontinuité s'exprime par de nets sur le rapport Th/k, elle est d'une épaisseur de **15 m**, cette séquence est structure de bas en haut en deux cortège de type [LAST] et [HAST].

- Le premier cortège de forme « quasi cylindrique » est du type low accommodation Systems tracts [LAST], affichant de la cohérence granulométrique et lithologique, c'est la signature caractéristique d'un environnement de lits de chenaux en tresse.
- Le deuxième cortège est d'allure en « dents de scie » (serrated) limité à la base à une profondeur de 2 881 m et au sommet par la surface érosive (SB3) à une profondeur de 2 870 m avec des valeurs de Gamma Ray relativement élevées, signe de variabilité de sa lithologie, c'est la signature d'un environnement de dépôt de plaine alluviale.

#### • Séquence 3

La troisième séquence de ce puits est limitée à la base et au sommet par deux surfaces d'érosion subaériennes (SB3 et SB4) à des profondeurs 2 870 m et 2 844 m comprenant une épaisseur totale de 26 m. Cette séquence comprend deux cortèges sédimentaires (LAST et HAST) :

- Le premier cortège entre 2870 m et 2856 m est un cortège de bas niveau d'accommodation [LAST] quasi-cylindrique avec un léger ciselage avec des valeurs moyennes relativement faibles de l'ordre de 45 API. Il s'agit d'un corps gréseux.
- Le second cortège se situe sur l'intervalle 2856 à 2844 m de profondeur, avec des valeurs d'intensité du GR variant alternativement entre 40 à 50 API pour les plus faibles (passées de grès) et des valeurs de 120 API (intercalations d'argiles), ce qui traduit un cortège de haut niveau d'accommodation [HAST].

#### • Séquence 4

Enfin, la quatrième séquence (**sq4**) comprise entre les discontinuités (**SB4**) et (**SB5**) [Toit du TAGI] est structurée en un seul cortège compris entre **2 844 m et SB5** [toit du TAGI] est structurée en deux cortèges sédimentaires de type [LAST] et [HAST].

- Le premier cortège est compris entre SB4 et 2838 m, ce cortège est de type [LAST] à une morphologie « quasi-cylindrique » caractérisé par des faibles valeurs du GR 28 API signe d'une cohérence granulométrique et lithologique. Ce cortège revêt le caractère d'un environnement de dépôt fluviatile en tresse.
- Le deuxième cortège définit entre les profondeurs 2838 m et 2832 m (SB5), ce cortège est de type [HAST] présente une morphologie en « cloche » indentée passant de 30 API à 66 API signe d'une granulométrie décroissante. Ce cortège revêt le caractère d'un environnement de dépôt de chenaux fluviatile.

#### V. Corrélations Nord-Sud et Est-Ouest entre les puits

#### V.1. Méthodologie

Pour effectuer ces corrélations nous avons utilisé un niveau repère (référence) déduit de la courbe du Gamma Ray Spectral (rapport Th/K), ce niveau est superposé a la première limite de séquence (SB1).

Les résultats obtenus de la spectrométrie ont permis de confirmer l'emplacement de la discordance Hercynienne ainsi que les autres surfaces pour chaque puits. De ce fait en nous basant sur les signaux Gamma Ray, nous pouvons corréler entre les puits en se réfèrent uniquement à l'allure des courbes diagraphiques du GR qui les représentent, notamment les limites entre séquences.

Dans le but de mettre en évidence la puissance du TAGI et de ses séquences, l'appréciation de la géométrie des dépôts et la variation latérale de l'architecture des corps sédimentaires ainsi que l'observation de la variation latérale de la lithologie et celle des milieux de dépôts du Trias Argilo-Gréseux Inférieur, deux profils de corrélations ont été réalisés dans les directions suivantes :




Figure III-13 : carte des deux profils de corrélation entre puits (Well-1, Well-2, Well-3,

Well-4 et Well-5).

## V.2. Profil de corrélation Nord-Sud entre les puits (Well-1, Well-2 et Well-4) :

Cette corrélation montre :

- ✓ Un épaississement progressif de l'argileux du Nord au Sud. (Le TAGI devient argileux au niveau du Well 2).
- ✓ L'épaisseur de la séquence 1 diminue du Nord vers le Sud allant de 34 m à « Well-1 » pour atteindre 22 m à « Well-2 » et 11 m à « Well-4 ». Cette séquence se dépose dans un milieu de dépôt fluviatile en tresse avec des dépôts beaucoup plus gréseux qui évolue vers des dépôts de plaine alluviale illustré par des intercalations de lithologie variable (argile, grès).
- ✓ Les puits « Well-1 » et « Well-2 » sont caractérisés par une succession de deux environnement de dépôt qui sont oscille entre un faciès de chenaux en tresse à la base et un faciès de plaine alluviale au sommet, cependant qu'au « Well-4 » elle devient gréseuse en totalité. Il faut remarquer que l'épaisseur de la séquence 2 est plus mince dans le puits « Well-2 » présentant 14 m d'épaisseur.
- ✓ Dans les trois puits « Well-1 », « Well-2 » et « Well-4 » la séquence 3 présente une même morphologie indiquant un environnement de dépôt fluviatile en tresse comprenant un faciès quasiment propre. On note que cette séquence augment en allant du Nord vers le Sud.
- ✓ La dernière séquence sur les trois puits présente globalement la même épaisseur, avec une variation des environnements de dépôt de chenaux en tresse, plaine alluviale. Cette dernière est l'équivalent latérale du méandre du puits « Well-1 » et aussi des dépôts de crevasse splay.



Figure III-14: Profil de corrélation Nord-Sud entre les puits « Well-1 », « Well-2 » et « Well-4 ».

## V.3. Profil de corrélation Est-Ouest entre les puits (Well-2, Well-3 et Well-5) :

Cette corrélation est illustrée par la figure ci-dessous présentant l'évolution verticale ainsi que l'évolution latérale des paléo-environnements.

- ✓ La séquence (Sq1) des puits « Well-2 », « Well-3 » et « Well-5 » s'est déposée dans un milieu de dépôt fluviatile de chenaux en tresse à la base qui évolue vers des dépôts de plaine alluviale au sommet. Cette séquence affiche des épaisseurs comparables au niveau des puits « Well-2 » et « Well-5 » et un léger épaississement au niveau du puits « Well-3 ».
- ✓ Sur les 3 puits « Well-2 », « Well-3 » et « Well-5 », la séquence 2 englobe divers environnements avec des milieux de dépôt allant des chenaux en tresse vers des milieux de plaine alluviale. Un amincissement de la séquence 2 est visible au niveau du puits « Well-3 ».
- ✓ L'épaisseur de la séquence 3 augmente d'avantage sur les puits « Well-3 » et « Well-5 », comprenant un environnement de dépôt fluviatile en tresse au niveau des deux puits « Well-2 » et « Well-3 », alors que cette séquence 3 sur le puits « Well-5 » présente une succession de deux environnement de dépôts fluviatiles en tresse à la base surmontée par des dépôts de plaine alluviale au sommet.
- ✓ Dans le puits « Well-2 » la séquence 4 présente un milieu de plaine alluviale avec de fines passées gréseuses d'origine fluviatile. Dans le puits « Well-3 » cette séquence (sq4) est constituée de dépôts de crevasse splay caractérisé par un faciès gréseux tandis qu'au niveau du puits « Well-5 » la séquence 4 présente un environnement de dépôt de chenaux fluviatile méandriforme avec un amincissement important de l'épaisseur (12 m).



Figure III-15 : Profil de corrélation Est-Ouest entre les puits « Well-2 », « Well-3 » et « Well-5 ».

# VI. Découpage lithologique

Le Trias Argileux Gréseux Inférieur traversé par les cinq puits du Nord Ahara présente globalement la même épaisseur (de l'ordre de 80m) et il est constitué de quatre séquences qui sont les suivantes :

### a) Séquence 01

Elle débute par un banc de grès au niveau des puits (Well-2, Well-3, Well-4 et Well-5) tandis qu'au Well-1 on retrouve une alternance de dépôts argilo-gréseux.

### b) Séquence 02

Constituée d'un banc de grès propre suivi d'un faciès argileux dans les puits (Well-1, Well-2, Well-3 et Well-5), cette séquence est beaucoup plus gréseuse au niveau du puits (Well-4).

### c) Séquence 03

Formée essentiellement d'un banc de grès propre sur lequel s'installe un petit niveau argileux, les grès sont caractérisés par des faibles radioactivité contrairement aux argiles.

### d) Séquence 04

Cette séquence est constituée de bancs de grès au niveau des puits (Well-1, Well-3, Well-4 et Well-5) en outre au (Well-2) elle devient plus argileuse avec quelques intercalations de banc gréseux.

## VII. Conclusion

Les différents méthodes d'étude utilisées dans notre démarche telles que la description lithologique des carottes, la lecture des enregistrements diagraphiques (GR et NGS) et les concepts de stratigraphie séquentielle sur les 5 puits : (well-1, well-2, well-3, well-4 et well-5) ainsi que les corrélations établies suite au découpage séquentiel ont permis d'arriver aux résultats suivants :

Le découpage séquentiel exécuté sur les 5 puits dans la région du Nord Ahara a mis en relief l'existence de plusieurs surfaces érosives subaériennes (SB) qui déterminent quatre (4) séquences dans chaque puits.

Chaque séquence est constitué de deux cortèges sédimentaires de type HAST (high accommodation systems tracts) et LAST (low accommodation systems tracts) qui sont liés à la montée et la chute du niveau de base. La mise en évidence des séquences de dépôt et des cortèges sédimentaires ainsi l'utilisation du Gamma Ray spectral notamment le rapport Th/K nous ont permis d'indiquer le passage d'un style de dépôt à un autre, marquant ainsi la limite entre cortèges successifs.

Le trias argilo-gréseux inférieur de la région Nord Ahara est caractérisé par des milieux de dépôt fluviatile en tresse qui évolue vers des dépôts de la plaine alluviale.

## **Conclusion générale**

La genèse du bassin de Berkine résulte de l'héritage des mouvements tectoniques qui ont marqué et structuré la plateforme saharienne et du remplissage sédimentaire des différents bassins qui la constituent.

Le présent projet de fin d'études est basé sur l'exploitation des données de sédimentologie déduites de l'analyse descriptive des carottes mises à notre disposition sur un ensemble de cinq puits implantés dans la région Nord Ahara et leurs enregistrements diagraphiques, plus particulièrement le gamma ray (GR) et le gamma ray spectral.

Dans une première phase, nous avons procédé au découpage séquentiel des unités du réservoir du Trias argilo-gréseux inférieur (TAGI) des cinq puits dénommés Well-1, Well-2, Well-3, Well-4 et Well-5, par interprétation des réponses diagraphiques qui nous a permis de mettre en évidence quatre principales séquences et leurs cortèges respectifs sur la base de l'identification des surfaces qui les délimitent grâce aux valeurs particulières du GR. Dans une seconde étape, nous sommes remontés à l'identification des faciès et environnements de dépôt sur la base des morphologies spécifiques des réponses diagraphiques (électro-faciès et électro-séquences) et au calage de ces résultats aux données de carottes.

Ce qui a permis de conduire dans une troisième phase à la mise en évidence de la succession des différents types d'environnements de dépôt qui varient d'un fluviatile méandriforme reconnaissable à un faciès de dépôt de chenaux à prédominance sableuse, grossière à la base et des dépôts fins au sommet, vers un environnement fluviatile en tresse caractérisé par un faciès gréseux qui se manifeste par des séquences à base érosive puis un environnement de dépôts de plaine alluviale présentant un faciès fins (sables, silts et argiles) avec un passage plus grossier lors d'une crue. L'approche est ici celle d'une stratigraphie séquentielle adaptée aux dépôts fluviatiles. La diversité d'environnements fluviatiles observée est naturellement contrôlée par les variations du niveau de base, soit respectivement par sa chute ou sa montée impliquant ainsi une forme de rythmicité et de cyclicité dans l'enregistrement sédimentaire. C'est ainsi que se matérialisent les cortèges ou unités identifiées à l'intérieur des séquences séparées par des surfaces de discontinuité subaériennes, dénommés dans la terminologie Catuneanu par Low Accommodation Systems Tracts [LAST] et High Accommodation Systems Tracts [HAST]. Ces cortèges spécifiques sont différenciés par leur style de dépôt caractérisé par la spécificité de la combinaison des éléments déposés

qui affecte leurs signatures diagraphiques respectives, et en milieu fluviatile contrôlé en amont, par le degré d'amalgamation des dépôts de chenaux reflétant les conditions de syndéposition de l'accommodation fluviatile disponible.

Pour synthétiser les résultats obtenus, deux profils de corrélations inter-puits, ou transect de corrélation séquentielle, ont été établis de directions NE-SO pour les puits Well-1, Well-2 et Well-4 et approximativement E-O pour les puits Well-2, Well-3 et Well-5 pour mettre en évidence les variations latérales de l'architecture des corps sédimentaires et l'évolution des faciès et environnements de dépôt dans les unités du réservoir du TAGI.

## **Références bibliographiques**

A

**AMEUR.Y et MEZINE.T (2020):** Analyse séquentielle du réservoir du Silurien Argileux Gréseux(SAG) de la région de Rhourde El Hamra, (Berkine Ouest, Sahara, Algérie) sur la base de l'exploitation des réponses diagraphiques du Gamma Ray et de donnés de carottes. Mémoire de Master, Département des sciences Géologiques, Université Mouloud Mammeri.

## B

BACCHIANA.C (2009, 2011) : Les fondamentaux de la stratigraphie séquentielle.

**BEAUCHAMP.J (1997) :** Maintien du trait de côté et accès aux ports sur le littoral picard. Actes colloque INTERREG, st Valery / somme, Université Picardie Jules Verne.

**BEGHOUL. MS (2013, 2015) :** Les diagraphies différées : interprétation pétro physique et géophysique IAP, Sonatrach.

**BOUDJAMAA** (1987) : Évaluation structurale du bassin pétrolier « Triasique » du Sahara Nord oriental Algérie. Thèse de doctorat d'état : Paris XI-Orsay France, p290.

**BOULVAIN. F (2015) :** Éléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire, Université de Liège faculté des sciences, Département de géologie.

#### C

CATUNEANU.O (2006) : Principales of sequence stratigraphy, Elsevier, Amsterdam.

**CATUNEANU.O** (2011) : Sequence stratigraphy methodology and nomenclature, Newsletters on stratigraphy, Gebruder Borntaeger, Stuttgart, Germany.

**CHAPUIS.F et BAUER.H (2010) :** Stratigraphie séquentielle du Trias du Sud-Ouest du Bassin de Paris.

**CHAPELLIER. D et MARI. J, L (2004):** Cours en ligne de géophysique, Institut de Géophysique Université de Lausanne, Institut Français de Pétrole(IFP).

**DELALEX.J** (2007) : Diagraphies différés et interprétation. Reservoir Engineering. ENSPM formation Industrie- IFP Training.

#### F

FOURNIER.F(2011) : Géologie des ressources fossiles, Université de Province.

**KLADJA.J & DUDEK.L (2016) :** Geological interpretation of spectral Gamma Ray(SGR) logging in selected boreholes. NAFTA-GAZ, ROK LXXII, Nr / 2016.

#### Η

**HASSEN et COLL (1976) :** Fundamentals of the differential gamma-ray log – Interpretation technique. SPWLA, 17th Ann. Log. Symp.

### L

**LEHRANI.Y et RAHIM.K (2019) :** Découpage séquentielle évaluation pétro physique et fracturation Hydraulique des réservoirs compacts (Tight) de l'Ordovicien du bassin de l'Ahnet (Région d'Oued Tisararet et Djbel Mouima Sud, Ahnet Central).

## Μ

MALLA.A et OUYAHIA.S (2016) : Caractérisation du passage Carbonifère-Trias dans la Région de Sif Fatima, Bassin de Berkine, SE Algérie. Mémoire de fin d'études master, Université des Sciences et de la technologie Haouari Boumediene.

**MERZERAUD.G et HAMON.Y (2005) :** New data on the Triassic Deposits of Sologne (Chémery, Southwest Paris Basin): stratigraphy and depositional environments.

**MONDOL.NH** (2015) : Well Logging: Principles, Applications and Uncertainties, Chapter 16.

### R

**RAPPORT SONATRACH (2018) :** Rapport d'implantation du forage Nord Ahara, Périmètre de recherche Menzel Ledjmat II Bassin Berkine Ouest - Direction Asset Est SCHÖN.J(2015) : Basic well logging and formation evaluation, first edition.

**SERRA. O** (1979) : Diagraphies Différées - Bases de l'interprétation (Tome 1) : Acquisition des données diagraphiques.

**SERRA.O(1985) :** Diagraphie différés (TOM II) : Acquisition des données diagraphique. Edition, SNEAP ELF PAU-France.

SONATRACH (2019) : Rapport de fin de sondage du puits « Well-3 ».

# W

WEC (2007) : Well évaluation, conférence document de Sonatrach et Schlumberger

Utilisation du Gamma Ray spectral pour le découpage séquentiel des séries sédimentaires du Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) dans la région du Nord Ahara du Bassin de Berkine

Master- Géologie des bassins sédimentaires

HAMLAOUI, L & OULD YOUCEF, F (2021)